



# Návrh a realizace digitálního dvojčete vychystávací linky

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojní inženýrství

*Autor práce:*

**Jakub Petrář**

*Vedoucí práce:*

Ing. Miroslav Vavroušek, Ph.D.

Katedra výrobních systémů a automatizace





## Zadání bakalářské práce

# Návrh a realizace digitálního dvojčete vychystávací linky

*Jméno a příjmení:* **Jakub Petráň**  
*Osobní číslo:* S16000137  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra výrobních systémů a automatizace  
*Akademický rok:* 2019/2020

### Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerší principů využití digitálních dvojčat a vizualizace procesů v průmyslu.
2. Analyzujte stav využití digitálních dvojčat v průmyslové výrobě.
3. Seznamte se základními principy a požadavky kladeným na digitální dvojče automatické linky.
4. Navrhněte digitální dvojče vychystávací linky ve vývojovém prostředí Unity.
5. Nasadte digitální dvojče a vyhodnoťte přínos při využití se skutečnou výrobní linkou ve výrobě.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

podle potřeby  
30-40 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] PŠENČÍKOVÁ, J. Algoritmizace. Vydání druhé. Kralice na Hané: Computer Media, 2009. ISBN 978-80-7402-034-6.
- [2] KRITZINGER, W. et al. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018, 51.11: 1016-1022.
- [3] SEDLÁK, J. Projektování a algoritmizace průmyslových řídicích systémů. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1989. ISBN 80-7083-014-X.
- [4] SMITH, M. a Ch. QUEIROZ. Unity 5.x cookbook: over 100 recipes exploring the new and exciting features of Unity 5 to spice up your Unity skill set. Birmingham: Packt Publishing, 2015. Quick answers to common problems. ISBN 978-1-78439-136-2.
- [5] PRECLÍK, V. Průmyslová logistika. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03449-6.
- [6] BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. Norcross, Ga.: Co-published by Engineering and Management Press, c1998. ISBN 0-471-13403-1.

*Vedoucí práce:*

Ing. Miroslav Vavroušek, Ph.D.  
Katedra výrobních systémů a automatizace

*Datum zadání práce:*

20. listopadu 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

20. května 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

Ing. Petr Zelený, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. listopadu 2019

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

30. prosince 2020

Jakub Petráň

# **Poděkování**

Rád bych věnoval poděkování vedoucímu Ing. Miroslavu Vavrouškovi, Ph.D. za ochotnou podporu a cenné rady při realizaci bakalářské práce.

# Anotace

Bakalářská práce se zabývá vytvořením digitálního dvojčete vychystávací linky (automatického skladovacího prostoru) ve vývojovém prostředí Unity. V úvodu jsou popsána digitální dvojčata s jejich využitím ve světě a všechny použité programy pro vývoj aplikace. Dále je v bakalářské práci popsána tvorba digitálního dvojčete vychystávací linky a do detailů rozebrány veškeré vytvořené nástroje, funkce a možnosti uživatelského rozhraní objevující se v programu. Uživatel si zde může pomocí jednoduchého editoru sám navrhnout a vytvořit vlastní dopravní systém. Rozvoz produktů je zde řešen pomocí bezpilotních automatických vozítek vybavených přepravním zásobníkem.

**Klíčová slova:** digitální dvojče, Unity, návrh skladového prostoru, automatizace, vychystávací linka.

# Annotation

The bachelor's thesis deals with the creation of a digital twin of picking line (automatic storage space) in the Unity development environment. The introduction describes digital twins with their use in the world and all the programs used for development of the work. Furthermore, the bachelor's thesis describes the creation of a digital twin picking line and details all the created tools, functions and user interface options appearing in the program. Here, the user can design and create his own transport system using a simple editor. The delivery of products is solved here by unmanned automatic trolleys equipped with a transport container.

**Key words:** digital twin, Unity, design of warehouse space, automation, picking line.

# Obsah

1	Úvod.....	12
2	Digitální dvojče.....	13
2.1	Rozdělení .....	13
2.2	Přínosy .....	14
2.3	Možnosti vizualizace systémů a procesů .....	15
2.4	Postup tvorby .....	15
2.5	Uplatnění digitálních dvojčat.....	16
2.5.1	Historie využití digitálního dvojčete .....	17
2.5.2	Průmyslová výroba .....	17
2.5.3	Proces obrábění.....	17
2.5.4	Městská infrastruktura .....	18
2.5.5	Letecký průmysl .....	19
2.5.6	Větrné elektrárny .....	19
2.5.7	Motoristický sport.....	20
2.5.8	Logistika .....	20
3	Použité programy .....	21
3.1	Vývojové prostředí .....	21
3.2	Editor skriptů .....	23
3.3	Programovací jazyk .....	24
3.4	Tvorba 3D modelů .....	24
4	Vývoj aplikace digitálního dvojčete vychystávací linky.....	27
4.1	Digitální dvojče vychystávací linky 1.0 .....	27
4.1.1	Návrhy a plány.....	27
4.1.2	Modely.....	28
4.1.3	Tvorba tratě v editoru .....	30



4.1.4	Uživatelské rozhraní .....	31
4.1.5	Funkce pohybu vozítek.....	37
4.2	Digitální dvojče vychystávací linky 2.0 .....	38
4.2.1	Plánované vylepšení .....	39
4.2.2	Tvorba tratě v editoru .....	39
4.2.3	Uživatelské rozhraní .....	41
4.2.4	Funkce pohybu vozítek.....	46
4.3	Přínosy realizace digitálního dvojčete .....	48
5	Závěr.....	49
6	Použitá literatura a zdroje.....	50

# Seznam obrázků, grafů a ilustrací

Obrázek 1 – Digitální dvojče na mobilním zařízení [8] .....	15
Obrázek 2 – Simulace deformace lopatky [12] .....	18
Obrázek 3 – Digitální dvojče města Boston [14].....	19
Obrázek 4 – Unity.....	21
Obrázek 5 – Visual Studio 2019 .....	23
Obrázek 6 – PTC Creo Parametric .....	25
Obrázek 7 – Model vozítka.....	29
Obrázek 8 – Model nákladní brány.....	29
Obrázek 9 – Velikost dílků tratě .....	30
Obrázek 10 – Horní lišta.....	31
Obrázek 11 – Soubor v horní liště .....	32
Obrázek 12 – Tabulka pro uložení projektu .....	32
Obrázek 13 – Editor v horní liště.....	33
Obrázek 14 – Panel editoru 1. verze .....	33
Obrázek 15 – Levá výhybka .....	33
Obrázek 16 – Levá křížová výhybka .....	33
Obrázek 17 – Dokumenty v horní liště.....	34
Obrázek 18 – Přidat produkt.....	34
Obrázek 19 – List produktů 1. verze .....	35
Obrázek 20 – List zakázek 1. verze .....	35
Obrázek 21 – Zobrazení v horní liště .....	35
Obrázek 22 – List bran .....	36
Obrázek 23 – List vozítek.....	36
Obrázek 24 – Nastavení v horní liště.....	36
Obrázek 25 – Nastavení 1. verze .....	36
Obrázek 26 – Klávesové zkratky 1. Verze .....	37
Obrázek 27 – Panel vozítka .....	38
Obrázek 28 – Ovládací panel.....	38
Obrázek 29 – Vypočtené možnosti trasy .....	40
Obrázek 30 – Funkce propojovacích bodů .....	40
Obrázek 31 – Panel editoru 2. Verze .....	42

Obrázek 32 – List produktů 2. Verze.....	42
Obrázek 33 – Přidat nebo změnit produkt u 2. verze.....	43
Obrázek 34 – List zakázek 2. verze .....	43
Obrázek 35 – Přidat nebo změnit zakázku u 2. verze .....	43
Obrázek 36 – Panel s procesy .....	44
Obrázek 37 – Ikony .....	44
Obrázek 38 – Nastavení 2. verze .....	45
Obrázek 39 – Klávesové zkratky 2. verze .....	45
Obrázek 40 – Kurzory myši.....	46
Obrázek 41 – Zobrazení pozice panelů .....	46
Obrázek 42 – Chybové hlášené ovládací panelu .....	47

# 1 Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na vytvoření jednoduchého programu pro navržení a zrealizování skladových prostorů v průmyslové výrobě formou digitálního dvojčete vychystávací linky. V první části se práce zaměřuje na popis a princip digitálního dvojčete. Je zde uveden i postup výroby a případné využití ve světě. Dále popisuje vývojovou platformu, ve které je tento program vytvořen. Programovací jazyk, který daná digitální platforma podporuje a následně použité programy pro tvorbu potřebných modelů.

Druhá část bakalářské práce se zabývá realizací a popisem funkcí vytvořeného programu. Rozděluje se na dvě podkapitoly a to první a druhou verzi programu. První verze zahrnuje tvorbu modelů, nejrozličnějších uživatelských panelů, uživatelsky ovládaný editor pro tvorbu tras a použité funkce pro přepravu ve skladových prostorech. Zjednodušeně popisuje celou tvorbu tohoto programu. V druhé podkapitole jsou popsány nejrozličnější vytvořené vylepšení a zdokonalení původní první verze programu.

## 2 Digitální dvojče

Digitální dvojče má ve světě průmyslu mnoho podob a představuje virtuální repliku fyzického objektu, produktu, procesu nebo systému. Lze ho použít k plánování, simulacím a optimalizacím aniž by to ovlivnilo skutečný produkt, výrobu nebo provoz. Ke své analýze používají znalosti umělé inteligence bez ohledu na to, kde se nachází skutečné zařízení. Takový virtuální model dokáže odhalit nejruznější nesrovnalosti a chyby ještě předtím než se daný systém zrealizuje. Digitální dvojčata se používají k zlepšování probíhajících operací, testování nových produktů nebo jejich uvedení do provozu. Vznikají na základě fyzických vlastností daného systému. Vybrané vlastnosti pro digitální dvojče musí postihovat podstatné rysy popisovaného systému za pomoci matematických modelů. Digitální dvojče umožňuje sledovat skutečný protějšek pomocí snímacích senzorů. Díky tomu dokáže poskytnout aktuální přehled skutečného předmětu nebo systému a vizualizovat jeho aktuální činnost nebo proces. Otevírá se tím možnost optimalizování produkčního výkonu a snižování problémů ve výrobě [1, 2, 4].

### 2.1 Rozdělení

Digitální dvojče se rozděluje do tří základních typů. Digitální dvojče prototyp, digitální dvojče instance a digitální dvojče agregát. Digitální dvojče prototypu se skládá z návrhů, procesů a analýz k vytvoření skutečného systému. Tento typ se sestavuje ještě před fyzickým systémem. Umožňuje například personálu se dopředu připravit na předem vytvořených simulacích reálného provozu ještě před oficiálním spuštěním. Získají tím důležité informace a zkušenosti, které mohou poté aplikovat v reálném prostředí. Digitální dvojče instance je digitální model každé jednotlivé instance systému, jakmile je vyroben. Digitální dvojče agregátu je agregace digitálního dvojčete instance, kde lze veškeré informace a data použít pro dotazování reálného systému, prognostiku a učení. Digitální dvojče je logický konstruktor, protože jeho skutečná data a informace mohou být zahrnuty i v jiných aplikacích [3].

Digitální dvojče lze rozdělit do dalších tří typů podle jejich zaměření ve výrobním podniku. Digitální dvojče produktu, výroby a výkonu. První typ zahrnuje návrh produktu a jeho

virtuální, systémově orientovaný vývoj. Umožňuje simulovat, navrhovat a validovat komplexní produkty, automatizaci elektronického návrhu a řízení softwaru. Všechny tyto možnosti nabízí bez nutnosti realizace skutečných prototypů. Druhý typ se týká plánování, simulování a optimalizování výroby. Dvojče dokáže i automaticky vygenerovat PLC kód, pokud v dané společnosti takové zařízení využívají. PLC je průmyslový počítač, který je sestaven pro automatizaci procesů v reálném čase. Je schopen převzít a vykonávat řídicí funkce, jako ovládání strojů, výrobní linky nebo řízení procesů. V posledním typu digitálního dvojčete se využívají data produktů a výrobních zařízení, díky kterým přináší nové poznatky a údaje. Tyto vyhodnocené poznatky vrátí zpátky na začátek k návrhu produktu, což uzavře vytvořenou smyčku při rozhodování a možné optimalizaci výroby [5].

## 2.2 Přínosy

Optimalizace a zlepšení výroby patří mezi nejvýznamnější přínosy digitálního dvojčete. Pomocí získávání dat ze senzorů a modelováním na digitálním dvojčeti lze vyhodnotit zvýšené riziko poruchy při preventivní údržbě systému nebo strojů. V tomto odvětví analytici předpokládají největší úspory včetně logistiky. Digitální dvojčata umožňují vyšší využití podnikových aktiv a optimalizaci procesů, které lze předpokládat ve výrobní sféře, logistice nebo dodavatelského řetězce. Další přínos digitálního dvojčete je simulování chování nových produktů nebo zařízení, které čerpající data ze svých senzorů a uplatňují se oblasti výzkumu a vývoje. Digitální dvojče lze využít i v rozsáhlejších možnostech než jen u fyzického objektu, ale mohou sestavit i distribuční řetězce, města nebo chování organizací [6].

Mezi další přínosy digitálního dvojčete patří současné dvojité nastavení jako simulační i řídicí nástroj v jednom. U takového nastavení lze vytvořit dvojče výrobních toků, celé továrny nebo dodavatelsko-odběratelského řetězce. Poté umožňuje uživatelům simulovat, testovat a sledovat dané procesy a odhalovat neefektivní operace nebo vyhodnotit nežádoucí odchylky. Dvojče dokáže i včasné varovat před případnými krizovými stavy, díky prediktivní údržbě, a ušetřit tím náklady pro případné opravy [7].

## 2.3 Možnosti vizualizace systémů a procesů

Celá kapitola o digitálním dvojčeti pojednává o virtuální replice jako o datovém zdroji, analýze numerických dat a vyhodnocení příslušných situací. Virtuální replika ještě navíc zahrnuje analýzu obrazu, kde lze vizualizovat uživatelům vypočtená data o různých procesech (objemu, množství nebo kvalitě). Většina digitálních dvojčat se vizualizují v podobě aplikace na stolních, případně přenosných počítačích. V dnešní době lze najít uplatnění vizualizace i na chytrém mobilním zařízení, které nabízí rychlý internet, bluetooth a dostatečně velkou pracovní plochu. Výhodou vizualizace na takovém zařízení jsou přenosná data, ke kterým má uživatel přístup na jakémkoli místě. Digitální dvojče na mobilním zařízení je zobrazeno na obrázku s číslem 1 [8].



Obrázek 1 – Digitální dvojče na mobilním zařízení [8]

Další 3D vizualizační technologií je virtuální a rozšířená realita. Virtuální realita je technologie umožňující uživatelům se objevit v počítačem vygenerovaném virtuálním světě, ke které je zapotřebí příslušné vybavení. Rozšířená realita umožňuje digitálně doplňovat prvky na zařízení v počítačové grafice promítnuté s reálným světem. Tyto technologie se dají využít při navrhování a plánování integrovaného prostředí. Například při realizaci budov nebo map pomocí promítání rozšířené reality na deskách stolů [9].

## 2.4 Postup tvorby

Postup tvorby se dá rozdělit do tří specifických kapitol, podle procesu. Sběr dat, modelování a následná zpětná interakce. Tvorba digitálního dvojčete začíná vstřebáním uživatelských požadavků a hledáním souvisejících dat ohledně požadované repliky. Pokud reálný

protějšek existuje a vytváří se jeho digitální kopie, samotná data lze jednoduše naměřit a podle hodnot následně vymodelovat. Další možností je automatická generace, která dokáže vygenerovat celý model najednou nebo aspoň některé z jeho částí [10].

- 1) Sběr dat – pomocí požadavků zákazníka, směrnic, norem, katalogů dodavatelů, nebo předpokladů ohledně modelované repliky.
- 2) Modelování – vytvoření 3D repliky podle dat. Lze použít i aktuálně vytvořené 3D modely, které byly použity při realizaci. V dnešní době existuje mnoho programů umožňujících vytvoření dokonalého virtuálního prostředí, které uživatel požaduje.
- 3) Zpětná interakce – vyhodnotit vytvořené dvojče a porovnat s naměřenými daty. Na závěr procesu tvorby je vhodné ji zkontrolovat a vyhodnotit se znalci modelovaných procesů, ale také se zákazníkem zda plně vyhovuje.

Po vytvoření digitálního dvojče lze tuto repliku propojit se skutečným protějškem. Data využívají z umělé inteligence, strojového učení, snímacích zařízení a softwarových analýz. Vyhodnocují a vytvářejí živé digitální simulační modely, které kopírují svůj skutečný protějšek v reálném čase. Takové digitální dvojče se neustále učí a aktualizuje své informace v reálném čase. Dvojče dokáže integrovat historická data z předešlého využití stroje do své repliky [10].

## **2.5 Uplatnění digitálních dvojčat**

Digitální dvojčata se uplatňují v mnoha průmyslových odvětvích, k optimalizaci provozu a údržby fyzických systémů, aktiv a výrobních procesů. Pojednává o formativní technologii pro průmyslový internet věcí, kde skutečné prostředky dokáží virtuálně žít a interagovat s jinými stroji a lidmi. Průmyslový internet věcí neboli IoT je inovativní technologie, která zahrnuje síť fyzických zařízení. Propojuje a optimalizuje stroje, domácí spotřebiče a další zařízení, díky síťové konektivitě [11].

Dále jsou detailněji rozepsané příklady, kde se digitální dvojčata využívají. Průmyslová výroba, proces obrábění, městská infrastruktura, letecký průmysl, větrné elektrárny, motoristický sport nebo logistika.



### **2.5.1 Historie využití digitálního dvojčete**

Jeden z nejhlavnějších představitelů používající digitální dvojčata je agentura NASA, která použila technologii dvojčete už v sedmdesátých letech dvacátého století, když pracovala na projektu Apollo. V průběhu mise Apollo 13 explodovala kyslíková nádrž, která ohrozila životy samotné posádky, protože vážně poškodila servisní modul. Díky věrné replice kosmické lodi s technickými detaily mohl tým inženýrů nasimulovat situaci a otestovat možná řešení. Tato možnost hypotetických postupů dokázala zachránit životy celé posádky. Agentura NASA využívá koncept (dříve analogové, nyní digitální) dvojčete dodnes [7].

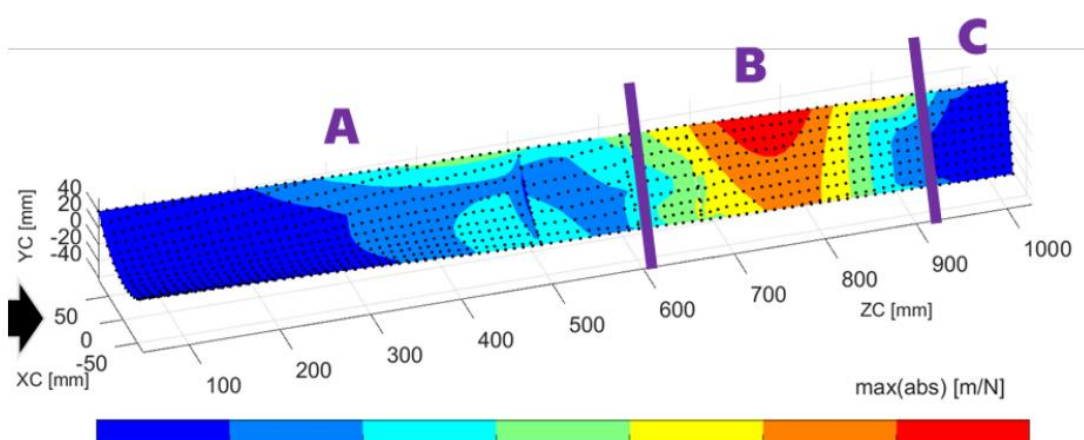
### **2.5.2 Průmyslová výroba**

Díky pokročilejším technologiím se dokáže do podoby virtuálního dvojčete napodobit celý výrobní proces (veškeré výrobní stroje nebo robotické linky). Díky této kopii lze simulovat budoucí výrobu a odstranit potenciální problémy bez finančních ztrát. Program Mechatronic Concept Designer od společnosti Siemens umožňuje tvorbu digitálního dvojče jednoúčelového stroje. Na tomto dvojčeti umožňuje simulovat a testovat jednotlivé prvky, jejich propojení a celkové chování stroje. Poté může pomocí jednotlivých částí stroje a působení fyzikálních sil vypočítat, zjednodušit a zrychlit práci všech profesí daného stroje. Pro simulování procesů z logistického hlediska je přístupný program Tecnomatix Plant Simulation, kde se dá vymodelovat formou digitálního dvojčete výrobní celek. V programu lze lépe optimalizovat rozmístění pracovišť, tok materiálu a další zajímavé funkce. U všech těchto nástrojů lze propojit zkonstruovaný model se skutečným řízením [2].

### **2.5.3 Proces obrábění**

Digitální dvojče lze využít i v kategorii obrábění složitých dílů nebo zvýšení produktivity samotného obrábění. Digitální dvojče dokáže pomocí virtuálních simulací odhalit jakékoliv chyby a vyhodnotit nejvhodnější proces pro obrábění dané součásti. Díky simulacím dokáže vyhodnotit i požadovanou přesnost povrchu a přitom dbát na nejvhodnější výrobní čas. Využívá veškeré informace procesu obrábění a bere v potaz i samotné nastavení CNC řízení stroje. Takové digitální dvojče stroje dokáže výrobní proces předem ověřit i bez nutnosti předchozích testů na stroji [12].

Pro příklad bylo digitální dvojče nasazeno při optimalizaci obrábění tvarově složitých dílců typu štíhlých poddajných lopatek. Cílem bylo dosáhnout nejlepší kvality obrobku při nejkratším možném času obrábění, kde dochází k vibracím a zvýšeného rizika deformací dílce při obrábění. Pomocí virtuálního dvojčete stroje, virtuálního modelu obrobku a integrované simulace řezných sil bylo navrženo řízení otáček takové, aby nedošlo k vysoké úrovni vibrací a nechtěnému poškození povrchu obrobku. Řešení tohoto procesu bylo rozdělení dané lopatky do třech částí, kde má stroj použít rozdílné řezné parametry, aby vliv vibrací nepoškodil požadovanou kvalitu povrchu. Vytvořená simulace deformace lopatky a rozdělení na tři části je zobrazeno na obrázku 2 [12].

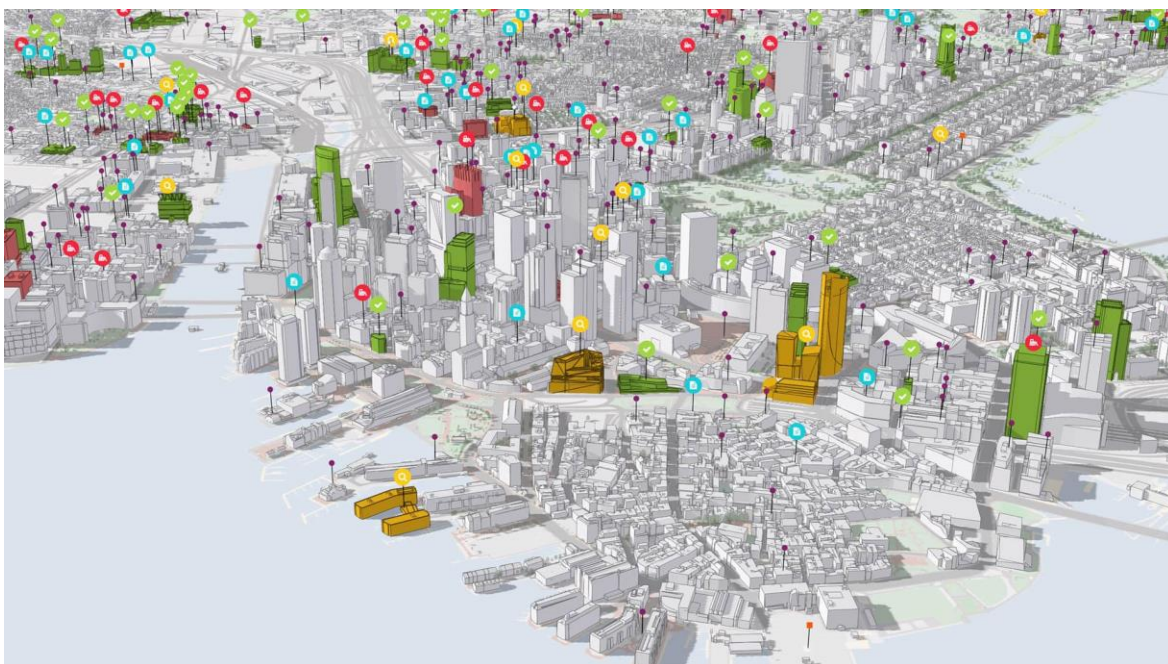


Obrázek 2 – Simulace deformace lopatky [12]

## 2.5.4 Městská infrastruktura

V dnešní době se využívají digitální dvojčata i ve velkých městech, jako je třeba New York nebo Boston. Snaží se ve vytvořené virtuální replice celého města vyřešit problém dopravního i cestovního systému jako celek. Pomocí umělé inteligence lze ve virtuálním prostředí předpovídat po stanovení nových opatření veškeré možné dopady na daný systém. Digitální dvojče dokáže vypočítat poškození dopravních cest v celém městě podle průměrného poškození nejfrekventovanější cesty v tomto městě. Po vyhodnocení potřebné údržby cesty si digitální dvojče zcela naplánuje opravu a zásah tak, aby to mělo co nejmenší dopad na provoz a zároveň neohrožovalo bezpečnost okolí. Digitální dvojče dokáže více funkcí než jen vyhodnocovat dopravní systém. Učí se vnímat více vlivů, jako je infrastruktura, mobili-

ta, energetika, chytré budovy, vodovodní systém až po životní prostředí. Díky tomu dokáže po nějaké větší krizi vyhodnotit dopad na prostředí, náklady nebo dopravu [13].



**Obrázek 3 – Digitální dvojče města Boston [14]**

## **2.5.5 Letecký průmysl**

V leteckém průmyslu se digitální dvojče využívá při vývoji nových typů komerčních i vojenských letadel. Této technologii využívá společnost Boeing, které se díky tomu podařilo zvýšit svojí kvalitu výroby dílů a systému až o 40%. Využívají veškeré dostupné programy k sestavení virtuálních modelů letadel. Díky daným programům s virtuálním dvojčetem stroje je možné simulovat proudění vzduchu kolem celého rámu letadla, až po vyvíjení tlaku na vysouvající se pozemní systém [13].

## **2.5.6 Větrné elektrárny**

Při stavbě větrných turbín jsou nejdůležitější povětrnostní podmínky, bohužel je velmi těžké určit počasí, směr větru, počet bouřek a na nich závislé vyrobené průměrné množství elektrické energie. Díky senzorům s monitorováním povětrnostních podmínek a technologii digitálních dvojčat větrné turbíny se dá vypočítat, jaký úhel větru dokáže nejvíce ovliv-

nit křídlo turbíny. Pomocí vypočtených dat ohledně vygenerované energie za dobu třech měsíců lze v klidu určit množství vygenerované energie za několik roků. Digitální dvojče také sleduje průměrné poškození těchto turbín a zvládá dopředu vyhodnotit jejich požadovanou údržbu, aby se předešlo haváriím [13].

### **2.5.7 Motoristický sport**

Digitální dvojče se dá uplatnit i v motoristických sportech pro závodní vozidla. Prvním týmem využívající digitální dvojče byl McLaren, který se účastnil mistrovství světa formule 1. V dnešní době díky digitálních dvojčat dokáží simulovat přesnou kopii celého vozidla. Každou jeho fyzickou vlastnost jako je výkon motoru, ale i okolní provozní prostředí u závodů. Dokáží vyhodnotit nejlepší návrhy na závodním okruhu, aby co nejlépe vyhovovalo daným podmínkám. Další výhodou jsou simulátory, kde si každý může vyzkoušet požadované vozidlo v různých životních podmínkách [13].

### **2.5.8 Logistika**

V logistice se digitální dvojče dá uplatnit při hledání optimální varianty využití skladových či manipulačních technologií, stanovení potřebných kapacit konkrétních skladů, návrh jejich alokace a atrakčních obvodů. Také jednou z výhod je efektivní návrh a vyhodnocení stavu při změně požadavků od zákazníka. Díky vytvořené replice materiálového toku, dodavatelsko-odběratelského řetězce nebo celé továrny lze digitálním dvojčetem sledovat, simulovat a testovat požadované procesy. Ve virtuálním modelu lze předem vytvořit, rozvrhnout a naplánovat optimální přepravní trasy nebo nově začínající procesy. Díky interoperabilitě, adaptabilitě a kognitivním schopnostem lze digitální dvojče využít v kompletování objednávek, vychystávání a automatickém řízení zásob [15].

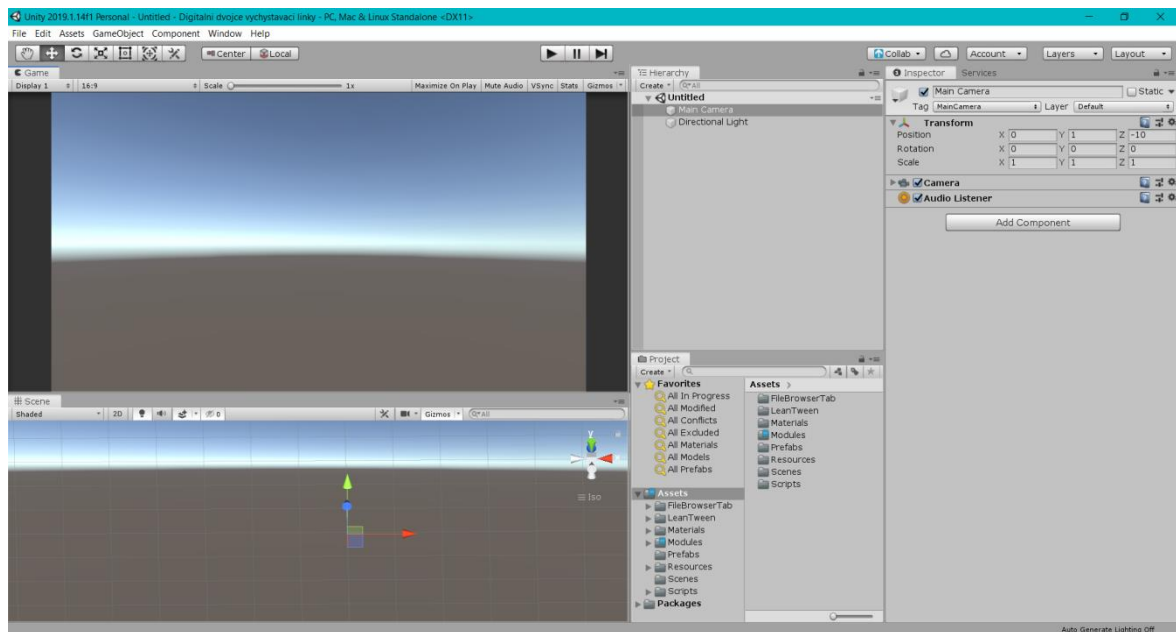
Jedno z prvních virtuálních dvojčat v České Republice týkající se logistiky bylo nasazeno v roce 2003, kde řídilo přísun materiálu do papírenské firmy Wood & Paper ve Štětí. Další společnost Tetra Pak (Švédsko-Švýcarská) dokázala díky této technologii významně zvýšit bezpečnost a produktivitu při příjmu zboží do skladu i při expedici a manipulaci s těžkými produkty. V nadhledu vše řídí sledovací věž, která vstřebává veškerá data a vyhodnocuje je v reálném čase [13].

## 3 Použité programy

V této kapitole jsou rozebrány a popsány použité programy, které byly použity v realizaci bakalářské práce. Všechny tyto programy poskytují základní verzi zdarma a jsou dostupné na jejich internetových oficiálních stránkách.

### 3.1 Vývojové prostředí

Jedno ze zásad pro vypracování bakalářské práce je použít jako vývojové prostředí program s názvem Unity. To je multiplatformní herní engine vyvinutý společností Unity Technologies. Používá se především pro vývoj her pro PC, konzolí, mobilů a webů, ovšem jeho použití není omezeno čistě na herní průmysl. První verze vyšla v roce 2005 a byla představena na celosvětové konferenci Applu. Od této doby Unity vyvinulo mnoho verzí a od roku 2017 jsou dodnes pojmenované podle aktuálního roku. Unity má pro individuální členy osobní verzi zcela zdarma. Nabízí i studentskou verzi, ve které je pár funkcí navíc oproti té osobní. Dále má i placené verze Unity Plus, Pro a Enterprise. Pro vkládání 3D modelů dokáže Unity číst soubory s příponou .fbx, .dae, .d3s, .dxf a .obj [17, 18].



Obrázek 4 – Unity

Uživatelské rozhraní vývojového prostředí Unity je tvořeno sadou oken. Rozložení jednotlivých oken lze libovolně upravovat což umožňuje vytvoření vhodného prostředí pro každého uživatele. Toto rozložení se dá uložit pomocí pravé horní funkce „Layout“ a zároveň i zpětně načíst. Uživatel si zde může i vybrat jednu z několika předem vytvořených možností. Unity nabízí uživatelům od roku 2010 online obchod k vzájemnému prodeji vlastních projektů (modelů, kódových systémů, audií, atd.). Tento obchod se objevuje v horní liště pod funkcí „Window“ se jménem „Asset Store“. Uživatelské rozhraní je zachyceno na obrázku 4 a v následujícím textu jsou popsány nejdůležitější okna vývojového prostředí [19].

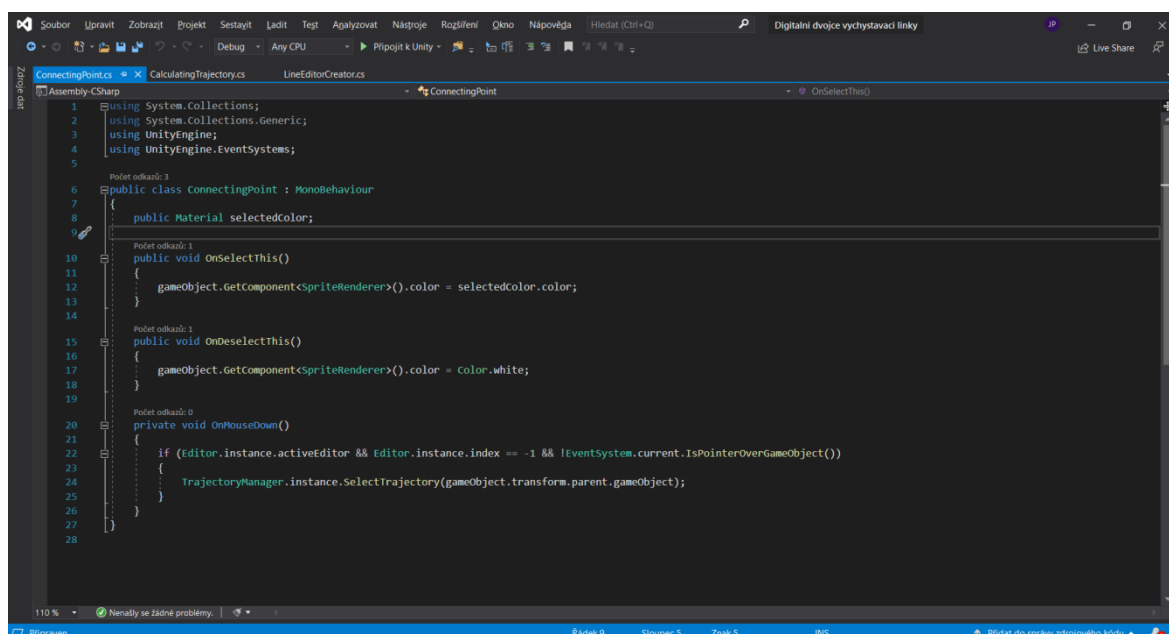
- Toolbar – nástroje pro manipulaci s objekty, ovládání scény, přepínání pohybu objektů nebo nastavování viditelných vrstev.
- Scene – okno kde se tvoří celý program přidáváním nejrůznějších objektů, kamer, textů, tlačítek, aktivních polí apod.
- Game – okno z pohledu hlavní kamery, které pak po vytvoření programu uvidí sám uživatel.
- Hierarchy – obsahuje všechny vložené objekty ve scéně, které se zařazují pod sebe, čím se mezi nimi docílí propojenosti pozice, rotace a zvětšení.
- Project – zde jsou uloženy ve složkách všechny důležité věci, co tvoří vytvořený program, jako jsou modely, skripty, scény, textury, materiály, apod.
- Inspector – okno se všemi vlastnostmi, funkcemi a komponenty vybraného objektu ze scény, kde se dá přizpůsobit transformace, skripty, obrázky, materiály apod.
- Services – spíše pro tvorbu her, kde se propojují reklamy, možnost více hráčů, uložení projektu na cloud apod.
- Console – zobrazení zpětné vazby ve formě informačních, varovných nebo chybných zpráv.
- Animation – rozhraní pro tvorbu animací založených na klíčových snímcích.
- Audio Mixer – pro nastavení zvukových efektů.

Při spuštění Unity se nejprve otevře aplikace Unity Hub, kde jsou uloženy a zobrazeny všechny uživatelem vytvořené projekty. Unity Hub je aplikace, která zjednodušuje rozhraní samotného vývojového prostředí Unity. Dají se zde stáhnout a nainstalovat všechny verze Unity a spravovat již vytvořené projekty. Dále jsou zde možnosti ke spravování vašeho účtu, licence editoru, spouštět dvě verze Unity najednou bez jakýchkoliv konfliktů a přidá-

vání komponentů do nainstalovaných verzí. Nabízí i naučné předem vytvořené projekty pro začátečníky i mírně pokročilé, které lze stáhnout a svým způsobem doplnit a prozkoumat [19, 20].

## 3.2 Editor skriptů

Editorů pro tvorbu skriptů je stejně jako programovacích jazyků několik. Unity při instalaci přímo nabízí editor Visual Studio 2019, který je použit ke splnění bakalářské práce. V dnešní době dokáže Visual Studio 2019 propojeně pracovat přímo s projektem a nabízí zde i režim debug. Debug označuje proces odhalování chyb a je důležitou součástí testovacího procesu. Toto prostředí využívá návrhů kódů IntelliSense, který zrychluje a pomáhá uživateli přesně zadávat potřebné proměnné a některé funkce. Dají se provádět rychlá vylepšení kódu, která navrhuje automatické přidávání parametrů nebo přejmenovávání funkcí či proměnných. Na obrázku 5 je představen editor Visual Studio 2019 a v něm otevřen pro ukázkou jeden z několika skriptů objevující se ve vytvořeném programu [21].



Obrázek 5 – Visual Studio 2019

### 3.3 Programovací jazyk

Programovací jazyk je nástroj pro zápis algoritmů, díky kterým dokáží počítače nebo programy provádět dané operace. Programátor dokáže podle programovacího jazyka formulovat určité problémy, podle kterých počítač následně postupuje. Programovací jazyk je vlastně formální soubor pravidel pro zápis algoritmů, kterému se odborně říká formální jazyk. Existuje mnoho různých typů programovacích jazyků podle druhu a úrovně softwaru. Nejpoužívanější programovací jazyky pro vývoj podnikových aplikací jsou:

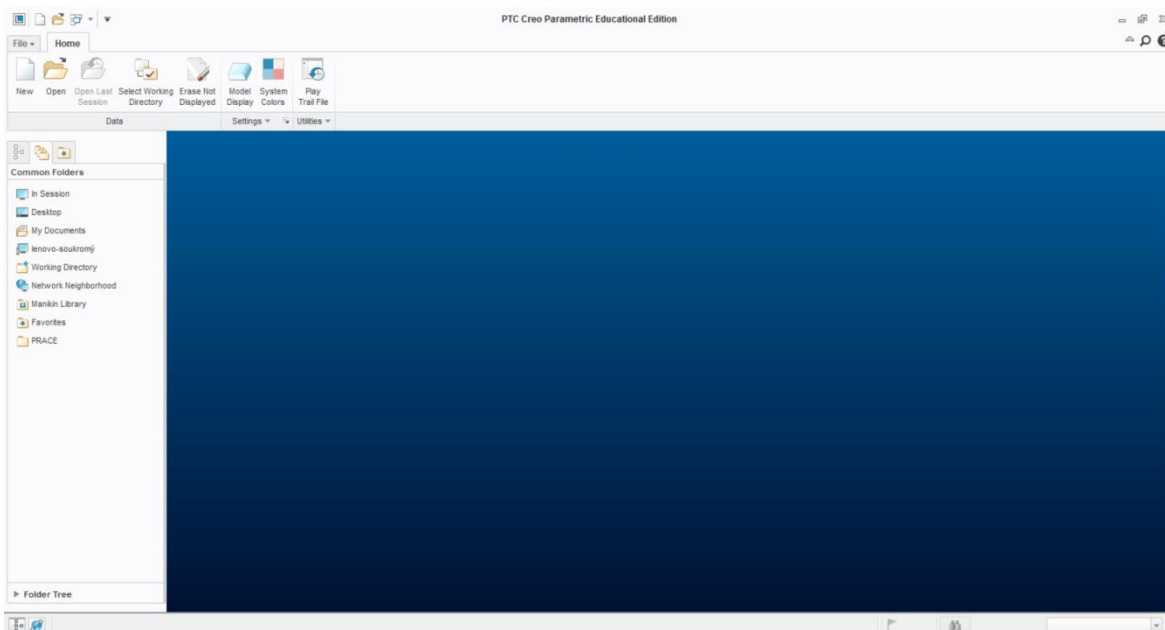
- Webový prohlížeč – ASP.NET, Java, Javascript, Ruby, PHP, Python, Perl
- Desktopové aplikace – C#, C++, Java, Pascal, Visual Basic
- Podnikové informační systémy – ABAP, Java
- Práce s databázemi – SAS, PL/SQL, SQL, T-SQL, Visual FoxPro

Tento program je napsán v jazyce C#, který vyvinula firma Microsoft společně s platformou .NET Framework a vychází z programovacích jazyků C/C++. Také se hodně podobá jazyku Java a neexistuje zde vícenásobná dědičnost. C# je jednoduchý, mnohoúčelový, moderní a objektově orientovaný programovací jazyk. Je case sensitive, tudíž rozlišuje mezi velkými a malými písmeny oproti jazyku VB .NET nebo Pascal. Malým písmenem začínají privátní atributy, zavedené lokální proměnné a parametry. Velkým písmenem se rozlišují jména balíků, rozhraní, tříd a metod. Zajišťuje typovou bezpečnost a zpětnou kompatibilitu kódu na binární i zdrojové úrovni. C# je samotný nekompatibilní jazyk s ostatními a využívá společný typový systém CTS podobně jako jiné jazyky v platformě .NET Framework [22, 23].

### 3.4 Tvorba 3D modelů

Pro tvorbu 3D modelů byl použit program PTC Creo Parametric (obrázek 6) od firmy PTC. Tento program je dodnes stavěn na základech původní aplikace pro parametrické modelování Pro/Engineer. PTC Creo je všeobecně škálovatelná a propojená sada aplikací, navržená pro osoby zapojené do procesu návrhu, výroby, prodeje a inovace výrobku [24].





**Obrázek 6 – PTC Creo Parametric**

V současné době obsahuje pět samostatných, provázaných aplikací. Tyto aplikace jsou:

- PTC Creo Parametric
- PTC Creo View MCAD
- PTC Creo Illustrate
- PTC Creo View ECAD
- PTC Creo Schematics

### **PTC Creo Parametric**

Používá se pro vytváření 3D CAD modelů nejrůznějších součástí nebo sestav a dokáže automaticky generovat výrobní výkres s naprostou jistotou. Pomáhá bez ohledu na geometrickou složitost rychle generovat modely s nevyšší kvalitou. Jakoukoliv změnu uživatel ve svém modelu vytvoří, tak se automaticky projeví ve všech propojených sestavách [25].

### **PTC Creo Illustrate**

Nástroj pro vytváření 3D technických ilustrací a animací pomocí existujících 3D CAD modelů a dat. Tento program umožňuje opakovaně využívat vytvořené 3D konstrukční data k vytvoření nejrůznějších návodů, katalogů, postupů a dalších forem publikace. Dají se zde vytvářet i animace kresleného modelu, například přenos otáček z vstupního do výstupního hřídele v převodových skříních nebo dynamické řezy pro zobrazení vnitřních součástí sestav [25].

### **PTC Creo Schematics**

Umožňuje vytvářet 2D schémata zapojení kabeláže, hydraulických a potrubních HVAC systémů. Obsahuje široké množství nástrojů pro tvorbu všech typů těchto 2D schémat. Program také dokáže automaticky vytvořit z 2D schémat i 3D systém, což zkracuje dobu pro vytváření kabelových nebo potrubních cest [25].

### **PTC Creo View**

Výkonný program s přístupem dat 3D CAD modelů, výkresů a schémat, který poskytuje uživatelům rychlý, snadný a zároveň i sdílený přístup. PTC Creo View se rozděluje na Creo View MCAD a Creo View ECAD. První z těchto dvou rozdělení vizualizuje konstrukční návrhy a zobrazuje 3D data hlavních systémů. Druhý Creo View ECAD podporuje interaktivní prohlížení, zjišťuje nové informace z oblasti elektra a také snadno vizualizuje samostatné desky plošných spojů [25].

## **4 Vývoj aplikace digitálního dvojčete vychystávací linky**

Bakalářská práce navazuje na zrealizovanou diplomovou práci, která se zabývala vytvořením reálné vychystávací linky. V diplomové práci byl vytvořen objekt vozítka se zásobníkem ve tvaru trychtýře, které slouží k přepravě produktů. Druhým objektem je nákladní brána, která ve svém zásobníku tyto produkty skladuje. Tento zásobník je vybaven dávkovacím systémem, díky kterému dokáže brána vyložit požadované množství produktů. Oba objekty jsou naprogramované a dokáží mezi sebou i komunikovat. Vychystaným produktem jsou barevné kuličky a trať pro vozítka mezi bránami je vytvořena z černé lepicí pásky. Vozítko má na sobě přidělané snímací senzory, díky kterým se dokáže udržet na předem vytvořené trati a zaznamenávat následující typ tratě. Toto zaznamenání funguje podle snímání přidané lepicí pásky kolmé na sledovací trať. Páska na pravé straně znamená, že v následujícím úseku se objeví pravá výhybka a to stejné platí i pro levou stranu. Pokud by se objevila páska na obou stranách, vozítko by zaznamenalo informaci o nadcházející nákladní bráně, u které by se následně zastavilo.

### **4.1 Digitální dvojče vychystávací linky 1.0**

Bakalářská práce se tedy zabývá vytvořením programu ve vývojovém prostředí Unity, ve kterém se objeví digitální dvojče navazující diplomové práce. Program by měl sloužit pro návrh a vizualizaci vychystávacího prostředí v průmyslové výrobě, kde bude možné si vytvořit vlastní takovou vychystávací linku.

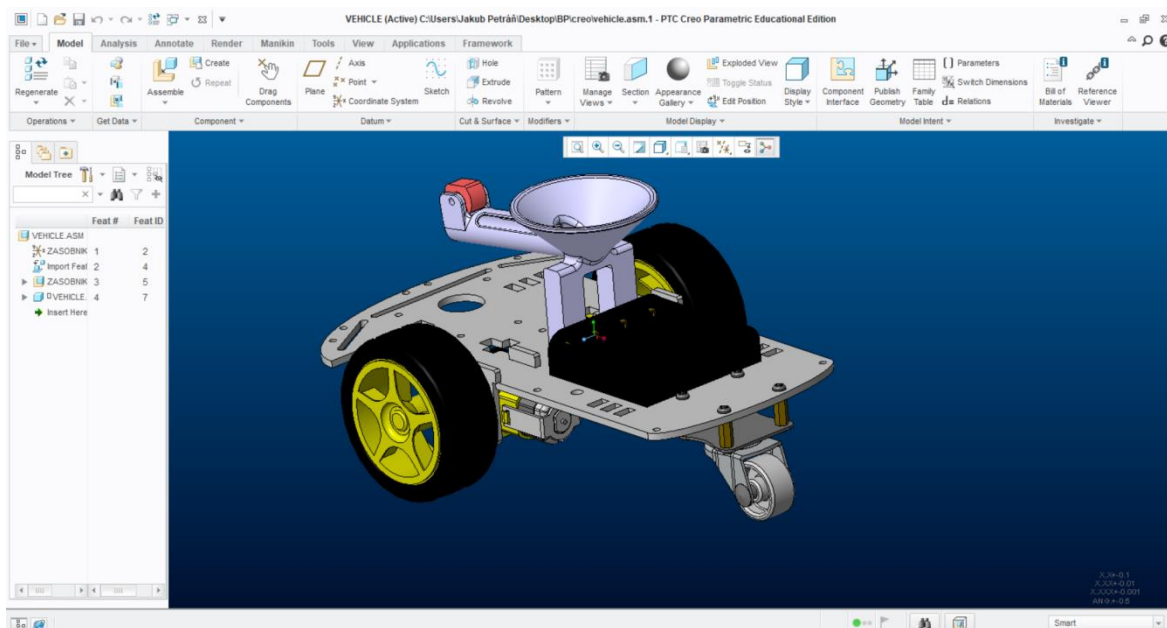
#### **4.1.1 Návrhy a plány**

Důležité je si říct, co od programu očekávat, jaké by měli být jeho vlastnosti, funkce a ovládání. V první řadě by měl obsahovat vozítko se zásobníkem pro přenos produktů, nákladní bránu se zásobníkem pro uskladnění produktů, výkladní bránu pro vyprázdnění zásobníku vozítka a parkoviště k uskladnění těchto vozítek. Mezi těmito třemi objekty by

se mělo vozítko pohybovat podle toho, jak si uživatel trasu vytvoří. Trasa bude tvořena několika dílky pospojovaných za sebou pomocí rovin a zatáček. Díky takzvanému výhybkovému systému se rozšíří možnosti pro tvorbu tratě, kde se vytvoří několik výhybkových dílků, jako je levá, pravá a křížová výhybka. Z hlediska uživatelské manipulace by se všechny objekty měli dát postavit, smazat, posunout a otáčet. To jsou plány pro tvorbu a manipulaci s prostředím. Další funkce se týkají ohledně produktů a zakázek. Pro obojí by měl existovat panel se seznamem a několika tlačítky jako je přidat, odebrat a upravit. Zakázka bude obsahovat seznam s požadovanými předem vytvořenými produkty a k nim požadované množství. Další z důležitých funkcí je možnost definovat vybrané nákladní bráně její produkt s množstvím. Program bude obsahovat uživatelské rozhraní v podobě lišty v horní části obrazovky, kde budou jednotlivé funkce, jako je uložení, načtení, přidání vozítka, otevření editoru, vložení předpřipravené trasy, seznam nákladních bran, seznam vozítek, nastavení a zobrazení klávesových zkratk. V pravém dolním rohu bude ovládací panel, týkající se časových úkonů, kde bude například možnost ovlivňovat pohyb vozítek.

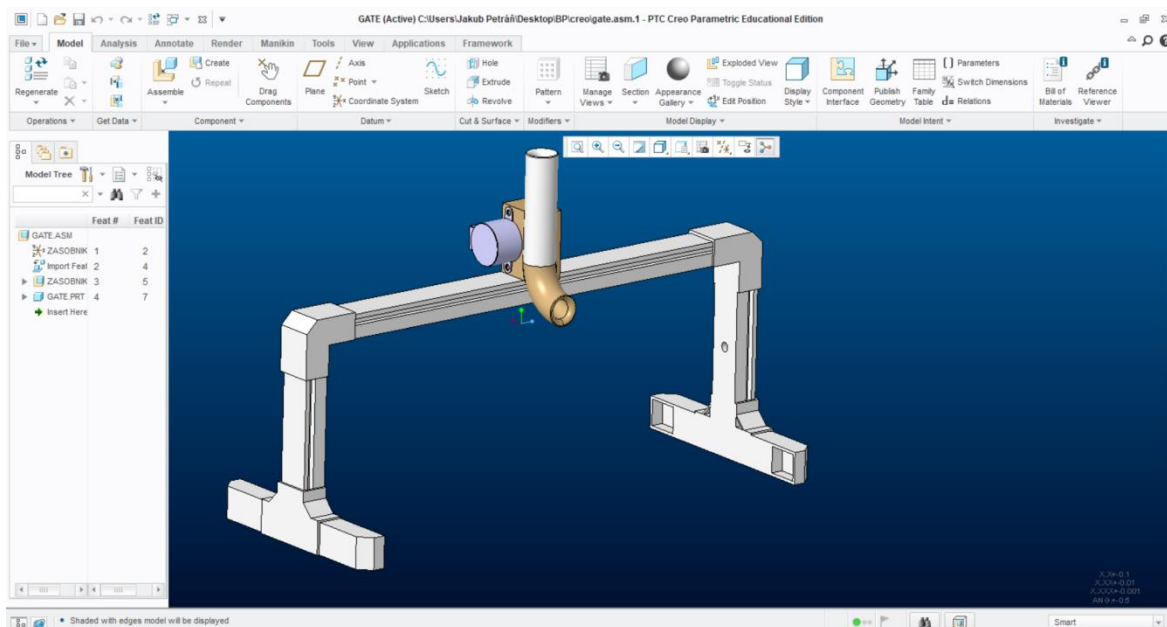
#### **4.1.2 Modely**

Z reálně vytvořených objektů navazující diplomové práce se změřily veškeré potřebné rozměry a následně vymodelovaly v programu PTC Creo. Pro ukázkou je na obrázku 7 model vozítka a na obrázku 8 model nákladní brány. Vozítko obsahuje dvě velká kola, ke kterým jsou připevněné elektrické motůrky, díky kterým se dokáže v prostředí pohybovat. Třetí menší kolo slouží jen jako otočný podpěrný bod. Zdrojem energie jsou čtyři vyměnitelné tužkové baterie typu AA, které se vkládají do černého pouzdra na těle vozítka. Další důležitou součástí je skladovací trychtýř sloužící k přepravě kuliček, ale i k jejich možnému vyložení. Poslední vymodelovaná součást je spínací tlačítko pro zapnutí a vypnutí přísunu energie a nachází se pod tímto trychtýřem.



**Obrázek 7 – Model vozítka**

Nákladní brána se skládá z několika kusů rámu připojených spojnicemi do jednoduchého tvaru s dvěma podpěrami. Uprostřed na horním rámu je přidělaný zásobník s funkcí dávkování určitého počtu kuliček. Výška a šířka brány je taková, aby vyhovovala velikosti vozítka.



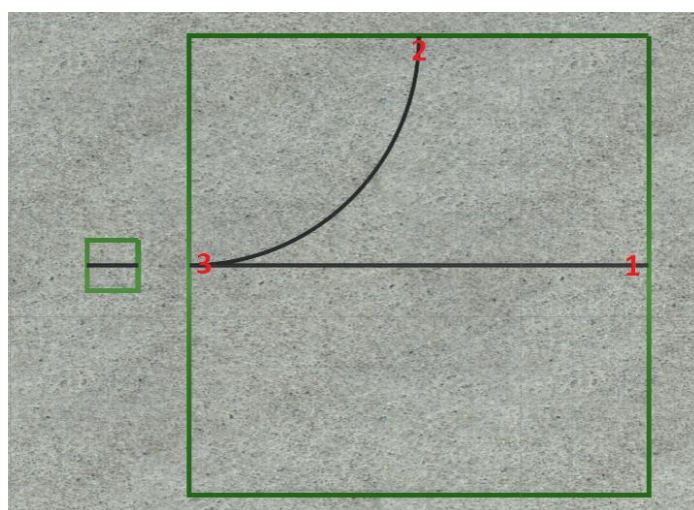
**Obrázek 8 – Model nákladní brány**

Pro aplikaci byl vytvořen i třetí model, který se nazývá výkladní brána. Tato brána byla v době vytváření aplikace digitálního dvojčete vychystávací linky ve vývoji, proto se v programu objevuje jen jako pouhý náčrt. Slouží k vyložení produktů z trychtýře vozítka.

Po dodělení veškerých detailů se musely modely importovat do vývojového prostředí Unity. Jediný formát, který společně Creo a Unity podporují je Wavefront (\*.obj), jenže tento formát v Unity nepřevádí modelům správně barvy. Tudíž se musel zvolit jiný postup. Použil se tedy program jménem Blender, který dokáže zpracovat více formátů. Modely z PTC Creo se tedy uložili ve formátu Stl (.stl), následně importovaly do Blenderu a exportovaly se ve formátu Collada (.dae), který Unity dokáže správně zpracovat.

### 4.1.3 Tvorba tratě v editoru

V panelu editoru ukrývající se v hlavní horní liště uživatelského rozhraní se nachází až 8 různých dílků tratě. Všechny tyto dílky se skládají z virtuální mřížky a jsou až na rovinu stejně velké. Jedna virtuální mřížka je velká jako jeden dílek roviny a ostatní dílky tratě mají velikost mřížky devět na devět. Na obrázku 9 je znázorněna velikost tratí, v levé části se objevuje rovina a v pravé části jedna z výhybek. Všechny vstupy a výstupy dílků jsou mřížkou ručně předem definované. Červená čísla 1 a 2 znázorňují v tomto případě výstupy a číslo 3 vstup. Tento vstup je navíc specifický tím, že má více směrů jízdy. To znamená, že se u něj vozítko bude muset správně rozhodnout, jaký směr si vybere.



Obrázek 9 – Velikost dílků tratě

Tyto výstupy nemusejí vždy sloužit jen jako výstup, záleží na úhlu pohledu a na uživateli, jak si trať postaví dle svého. Díky této vlastnosti vozítko při přijetí do výstupu s číslem 1 hned ví, že ho žádné rozhodování nečeká a jediná možná cesta je rovně. U výstupu s číslem 2 je to totožné, akorát nyní vozítko čeká pravá zatáčka. U roviny je to složitější, protože má jen jedno políčko mřížky, takže je vstupem i výstupem zároveň. Směr jízdy je tedy vyřešený pomocí natočení této roviny v prostoru. Všechny osm dílků má kolem sebe podle jejich velikosti zelený rámeček, který je v Unity vytvořený pomocí funkce „line renderer“. Parkoviště a obě brány mají navíc pomocí stejné funkce uprostřed vytvořenou šipku ukazující jejich směr v prostoru.

Při tvorbě tratě by měly být všechny dílky na sebe vzájemně propojené. Neměla by se kvůli pohybu vozítek objevit mezi dílky mezera. Pokud by se tak stalo a vozítko by se tímto směrem chtělo opravdu vydat, zastavilo by se a nevědělo by co dál. Po kompletním sestavení požadované tratě se nesmí zapomenout na definování typu a počtu produktů v nákladních bránách. Při vytvoření této brány se automaticky přiřadí první vytvořený produkt v seznamu s nulovým počtem v zásobníku.

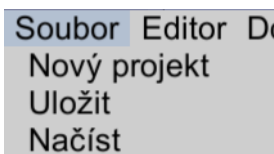
#### 4.1.4 Uživatelské rozhraní

Hlavním prvkem uživatelského rozhraní je horní lišta, ve které se ukrývají všechny ostatní panely a je zobrazena na obrázku 10. Je zde soubor, editor, dokumenty, zobrazení, nastavení, čas, datum a odejít. Všechny tyto ukrývající panely mají stejné funkce a ty jsou:

- Posouvání myši po obrazovce podle uživatelské představy a následné uložení či načtení těchto pozic.
- Při posouvání existuje kolem obrazovky virtuální hrana, kterou panely nedokáží překročit.
- Po každém otevření nebo kliknutí do této tabulky se automaticky posune na primární překrytí mezi ostatními otevřenými tabulkami.
- Zavření tabulky pomocí červeného pravého horního křížku.

**Obrázek 10 – Horní lišta**

## Soubor

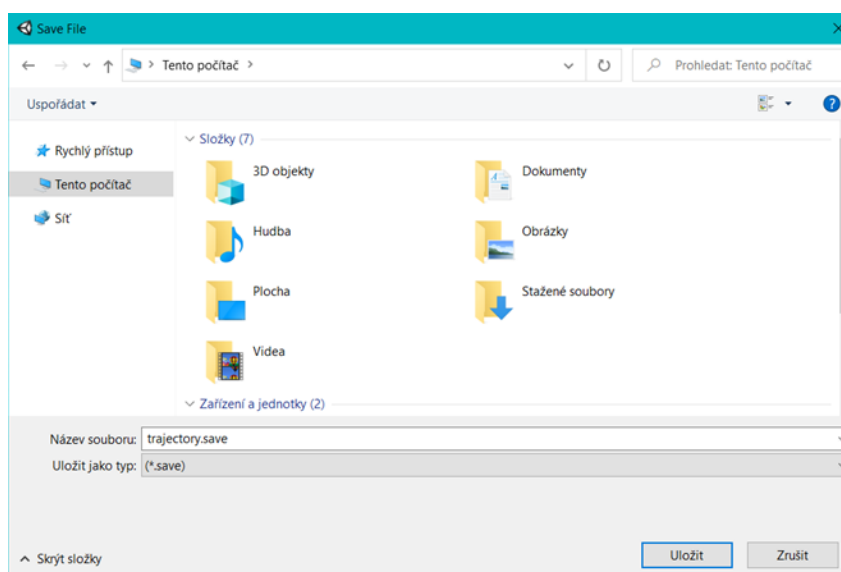


**Obrázek 11 – Soubor v horní liště**

Při vytváření nového projektu dojde k vymazání všech vytvořených dílků a vozítek. Funkce uložení uloží do jednoho souboru všechny potřebné informace, které charakterizují daný projekt. Těmito informacemi jsou na mysli:

- Postavené dílky (parkoviště, rovina, zatáčka, křižovatky, nákladní a výkladní brána). Ke každému dílku je uložena jejich pozice a rotace v poli. U nákladní brány se ještě navíc ukládá přiřazený produkt s množstvím.
- Vytvořené produkty a zakázky.
- Pozice panelů na obrazovce.
- Nastavení.

Při ukládání si uživatel může sám zvolit cestu k uložení tohoto souboru, pomocí standardního ukládacího okna, které k uložení využívá i samotné Unity nebo Microsoft (obrázek 12). Pomocí načtení si stejným způsobem zase tyto informace vytáhne z uloženého souboru a vloží do vývojového prostředí. Tato standardní ukládací tabulka je volně dostupná přímo v obchodě vývojového prostředí Unity.



**Obrázek 12 – Tabulka pro uložení projektu**



## Editor

Editor Dokumenty Zobrazení Na  
Přidat vozítko  
Otevřít editor  
Vložit předpřipravenou trajektorii

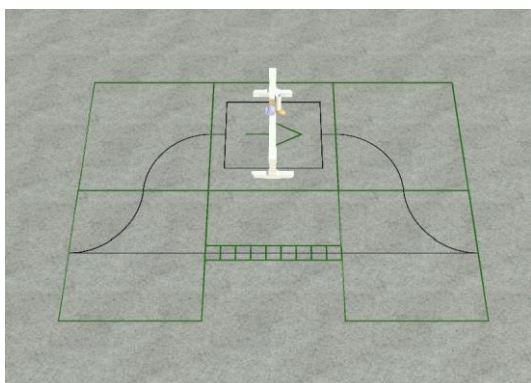
**Obrázek 13 – Editor v horní liště**

V editoru je možnost přidání nového vozítka na další volné parkoviště v pořadí, pokud žádné další není, vozítko se nevloží. Při otevření editoru vyjede v levém dolním rohu panel se všemi dílky k tvorbě trasy, obrázek 14. Tyto dílky se dají vybrat kliknutím levého tlačítka myši nebo pomocí znakových či numerických kláves 1-8. Pomocí tlačítka „Smazat“ nebo klávesy „Delete“ se vybraný postavený dílek z pole smaže.

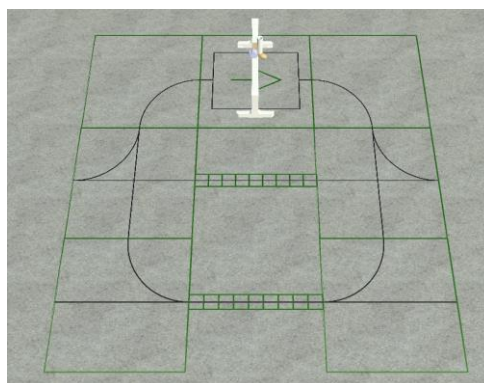


**Obrázek 14 – Panel editoru 1. verze**

Třetí možností u editoru je vkládání předem vytvořených tras týkající se výhybkových odboček k nákladním bránám. Po kliknutí vyjede uprostřed obrazovky panel se čtyřmi předem vytvořenými variantami, kde si uživatel může jednu z nich vybrat. Pravá a levá výhybka (obrázek 15) nebo pravá a levá křížová výhybka (obrázek 16).

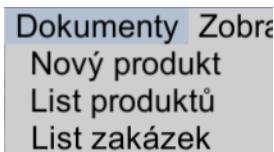


**Obrázek 15 – Levá výhybka**




**Obrázek 16 – Levá křížová výhybka**

## Dokumenty



**Obrázek 17 – Dokumenty v horní liště**

Při vytváření nového produktu se objeví panel z obrázku 18, kde se dají vložit informace pro definování daného produktu. Pod tyto informace patří jméno, kód, váha, cena a datum přidání. Klíčovou informací je zde jméno, které se poté promítne ve výběru produktu u nákladní brány. Tlačítkem pro přidání produktu se všechny informace uloží a vyplněný text ve vstupních polích se opět vynuluje. Pokud uživatel bude chtít přidat produkt a nevyplní jedno z pěti polí, tak to pole zčervená na krátkou časovou prodlevu a uživatel to bude moci upravit.

A screenshot of a dialog box titled 'Přidat produkt' with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains five input fields, each with a label to its left: 'Jméno:', 'Kód:', 'Váha:', 'Cena:', and 'Datum:'. Each input field contains the placeholder text 'Vložit text...'. At the bottom of the dialog is a green button labeled 'Přidat produkt'.

**Obrázek 18 – Přidat produkt**

List produktů z obrázku 19 slouží jako přehled všech vytvořených produktů a zároveň i k jejich úpravám. Tlačítkem „Změnit“ se v daném řádku objeví pět vstupních polí, které se dají libovolně přepisovat. Každé pole je pro jednu danou informaci, která se do nich automaticky předem vyplní. Po plánované změně stačí kliknout na tlačítko pro uložení a program tuto hodnotu změní i v ostatních propojených panelech. Z listu produktů se dají jednotlivé řádky smazat.

List produktů					
Jméno:	Kód:	Váha:	Cena:	Datum:	
bílá	456	5	15	28.10.2020	Změnit Smazat
modrá	889	3	11	11.11.2020	Změnit Smazat
černá	774	17	21	28.10.2020	Změnit Smazat

Obrázek 19 – List produktů 1. verze

V 1. verzi programu je panel se zakázkami (obrázek 20) určen jen k zobrazení seznamu aktuálních zakázek. Je zde vidět pořadové číslo, počet obsahujících produktů, datum vytvoření a aktuální status jednotlivé zakázky. Status se změní jen tehdy, když tuto zakázku zrovna vykonává jedno z vozítek. Po vyložení všech produktů ve výkladní bráně se zakázka dokončí a následně z listu odebere. Panel zakázek v této verzi programu umožňuje jedinou funkci a to zobrazení produktů dané zakázky pomocí vedlejší tabulky, která obsahuje číselné označení produktů, jejich jméno a požadované množství. Tato vedlejší tabulka se objevuje buď v pravé, nebo v levé části panelu, podle toho jak si uživatel tento panel na své obrazovce umístí.

List zakázek					Produkty		
Číslo	Produkty	Datum	Status		Číslo	Produkt	Množství
1)	2	21.11.2020	Čeká	Zobrazit	1)	černá	7
2)	1	23.11.2020	Čeká	Zobrazit	2)	bílá	4
3)	3	23.11.2020	Čeká	Zobrazit			

Obrázek 20 – List zakázek 1. verze

## Zobrazení

Zobrazení	Nas
List brán	
List vozítek	

Obrázek 21 – Zobrazení v horní liště

Zobrazení slouží jen pro uživatelský přehled všech vytvořených bran a vozítek. V těchto listech se objevují jen ty nejdůležitější charakterizující informace. List s branami, který je zobrazen na obrázku 22, obsahuje údaje o typu brány, jméno přiřazeného produktu a jeho množství v zásobníku. Druhým listem je list vozítek, který ukazuje aktuální stav přidáných

vozidel a jejich přiřazené zakázky. Zakázky jsou popsány dvěma čísly s lomítkem uprostřed, které představují vyzvednuté produkty z nákladních bran ku celkovému počtu produktů přiřazené zakázky. Tento list se objevuje na obrázku 23.

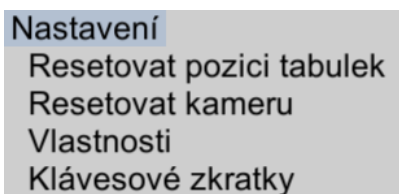
List brán			
Brána	Typ	Produkt	Počet
1)	Nákladní	modrá	20
2)	Nákladní	černá	10
3)	Nákladní	modrá	7
4)	Nákladní	bílá	15
5)	Výkladní	...	...

Obrázek 22 – List bran

List vozítek		
Vůz	Status	Zakázky
1)	Na cestě	1/2
2)	Čeká	0/0

Obrázek 23 – List vozítek

## Nastavení



Obrázek 24 – Nastavení v horní liště

Jedna z funkcí objevující se v nastavení obnovuje pozice všech tabulek a panelů do původních pozic, které si uživatel přerovnal dle svého uvážení. Druhá funkce vrací hlavní kameru do původní pozice i rotace. Pod nastavením jsou dva panely, první je panel s vlastnostmi a druhý zobrazuje příslušné klávesové zkratky. V panelu vlastností se nastavuje velikost podlahy a jazyk celého programu, kterým je čeština a angličtina. U podlahy se dá měnit délka i šířka v metrech až v desetinném čísle. Při výběru jazyka se v horním panelu změní délka textu u tlačítek, tudíž se tyto tlačítka smršťují nebo roztahují. Panel vlastností je znázorněna na obrázku 25.

Obrázek 25 – Nastavení 1. verze

Panel s klávesovými zkratkami (obrázek 26) je vytvořen pro přehled všech příslušných urychlujících kláves jak pro pohybování kamery, tak pro tvorbu tratě v editoru. Kamera se dá pomocí myši nebo kláves pohybovat, rotovat a přibližovat. V editoru se dílky tratě pokládají levým tlačítkem myši a otáčet se dají o devadesát stupňů pomocí tlačítka R. Další užitečná klávesa je ESC, která ruší označení vybraného dílku.

Klávesové zkratky		
Pohyb kamery		
Pohyb myši	Střední tlačítko myši	
Rotace myši	Pravé tlačítko myši	
Přiblížení myši	Kolečko myši	
Pohyb klávesnicí	Šipky	WASD
Rotace klávesnicí	CTRL + Šipky	CTRL + WASD
Přiblížení klávesnicí	ALT + Šipky	ALT + WASD
Editor tratě		
Položit	Levé tlačítko myši	
Rotovat	R	
Vybrat	1 - 8	
Zrušit výběr	Esc	
Smazat	Delete	

Obrázek 26 – Klávesové zkratky 1. Verze

### 4.1.5 Funkce pohybu vozítek

Všechna vložená vozítka mají totožný model, ovládací prvky, vnitřní skripty a liší se pouze jen v identifikačním čísle. Naprogramovaná jsou tak, že každé čeká na svém parkovišti, dokud nedostane informace jedné ze zakázek. Po přijmutí informací si vozítko nejprve zmapuje svojí cestu. To znamená, že projede všechny produkty ve své zakázce a podle nich virtuálně nalezne cesty k jednotlivým nákladním bránám s požadovaným produktem. Následně si z těchto cest vytvoří zpáteční cestou informace ohledně směru jízdy u výhybek, kterým se potřebuje vydat. Poté se vozítko rozjede kupředu se závislostí na aktuálních dílcích tras pod ním, dokud se nedostane k nějakému rozhodujícímu bodu. U něj si jen z programu vytáhne předem vytvořenou informaci o směru a vydá se jím. Po přijetí do středu dílku nákladní brány se vozítko zastaví a začne požadovaný produkt nakládat. Čas jeho zastávky je závislý na množství daného produktu ze zakázky. Po vyložení si brána odečte tento počet ze svého zásobníku a přepíše jej ve svém panelu, pokud je zrovna uživa-

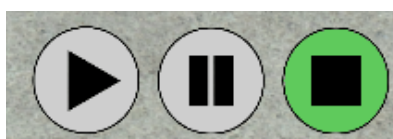
telem otevřený. Otevřít se dá pouze jedinou funkcí a to kliknutím na požadovanou nákladní bránu. Vozítko má také svůj vlastní panel, který se otevírá stejnou funkcí jako u předešlé brány a je vidět na obrázku 27. V tomto panelu se objevuje celá vozítkem přijatá zakázka, ve kterém si zeleně odškrtnává převzaté produkty.

Vozítko 1			X
Index	Produkt	Množství	
Vzaty 1)	bila	3	
Vzaty 2)	cerna	4	
3)	modra	2	
4)	zelena	3	

Obrázek 27 – Panel vozítka

Po naložení posledního produktu ze seznamu zamíří vozítko k výkladní bráně, kde se zastaví úplně stejným způsobem jako u nákladní brány a po vyložení pokračuje na čekající parkoviště.

Nejdůležitějším prvkem u pohybu vozítek je ovládací panel v pravém dolním rohu, kde si uživatel může kontrolovat jízdu vozítek. Ovládací panel je zobrazen na obrázku 28 a při spuštění programu je automaticky nastavený režim stopky, který umožňuje stavbu tratě, přidávání vozítek a upravování produktů. Ostatní funkce slouží pro spuštění a pozastavení jízdy vozítek, u kterých nelze provádět popsané činnosti jako u stopky. Pokud by se uživatel pokoušel tyto činnosti vykonat, pravá stopka by zčervenala na jednu vteřinu.



Obrázek 28 – Ovládací panel

## 4.2 Digitální dvojče vychystávací linky 2.0

Po kompletním vytvoření první verze přišel nápad ohledně vylepšení stavby tratě. Toto vylepšení by posunulo a zlepšilo celý vytvářený program na vyšší úroveň. Stavba tratě by pro uživatele byla mnohem jednodušší, ale složitější pro tvorbu veškerých těchto funkcí. Změnily by se funkce pro pohyb vozítek, ale i některá uživatelské rozhraní.

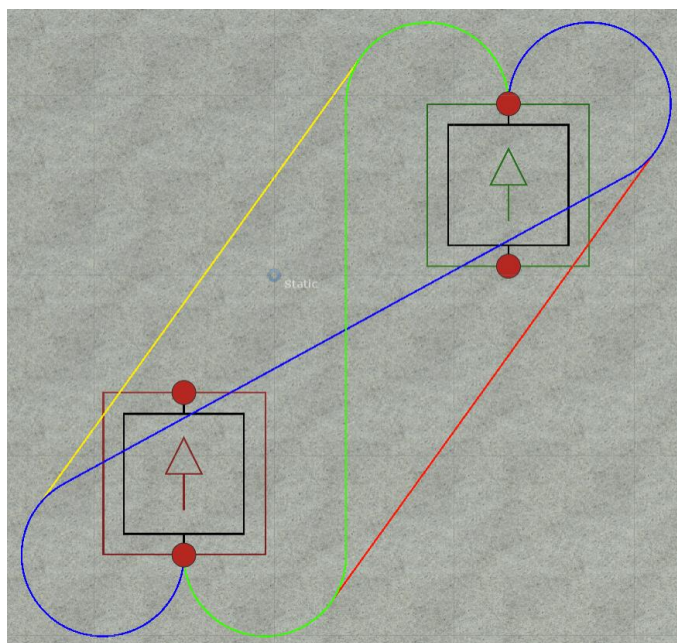
### 4.2.1 Plánované vylepšení

Nejdůležitější a nejvýznamnější změna se bude týkat editoru u vytváření trasy. Vytvořené dílky roviny, zatačky a výhybky nahradí systém propojování mezi vytvořenými vstupními a výstupními body pomocí jednoduché přímky nebo vytvarované křivky. Výhybky budou vyřešeny pomocí takzvaných propojovacích bodů, které budou mít rozpojovací a zároveň i spojovací funkci. Propojovací body budou mít stejné možnosti manipulace jako ostatní dílky. Další změna vznikne u panelu produktů a zakázek, pro lepší přehlednost a manipulaci. Přibude možnost vrácení posledního vymazaného řádku, kdyby si uživatel nechtěně tento řádek vymazal. Další změna se bude týkat panelu s nastavením, kam se přidají nezbytně nutné funkce k tvorbě tratě. Poslední změnou bude pohyb vozítka po nově vytvořené trase a chování vozítek na parkovištích.

### 4.2.2 Tvorba tratě v editoru

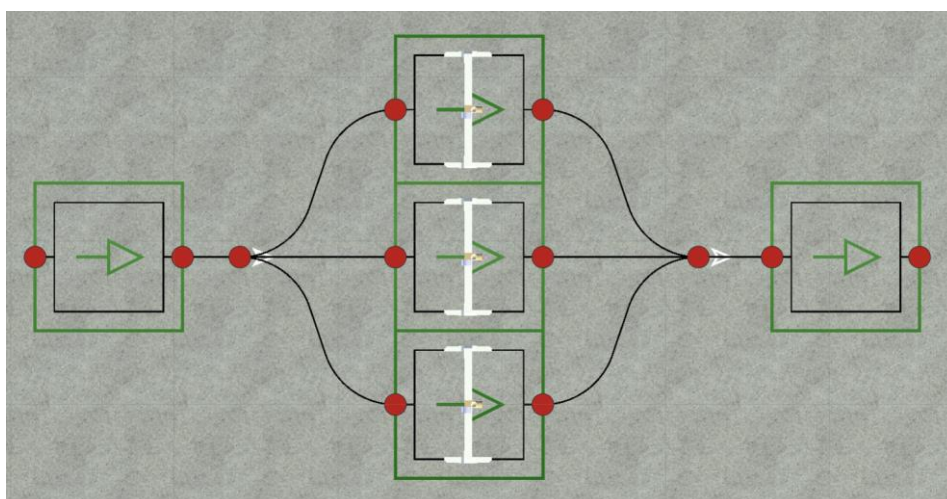
Druhá verze začala tím, že se smazaly nepotřebné dílky jako je rovina, zatačka a výhybky. Ke každému zbylému dílku se vytvořily na konec i na začátek dva červené body, jako je vidět na obrázku 29. Tyto body slouží k propojení tratí mezi vybranými dílky, po kterých se bude vozítko pohybovat. Všechny tyto červené body mají stejné funkce. Po najetí myši na daný bod se červeně zesvětlí a po kliknutí se zbarví do zelena. Při podržení levého tlačítka myši na tomto bodě se vytvoří přímka, která svým prvním bodem vychází z tohoto červeného bodu a její druhý bod kopíruje pozici kurzoru myši. Při puštění levého tlačítka myši ve volném prostoru tato přímka zmizí a je možno vytvořit novou. Nelze propojovat dva červené body na stejném dílku trasy. Pokud se levé tlačítko pustí na jiném červeném bodě, vypočítá si čtyři možné virtuální varianty požadované tratě. Tyto varianty jsou zaznamenány barevně na obrázku 29. Výstupním bodem je pravé horní parkoviště (vrchní červený bod) a vstupním je levé dolní parkoviště (spodní červený bod). Všechny tyto varianty jsou rozdílné a liší se ve spojení přímky s kružnicemi vstupního a výstupního bodu. Dvě varianty mají levý směr z výstupního bodu, zbylé pravý a každá z nich se napojuje buď přímo na stejné straně, nebo křížově s opačnou stranou. Toto barevné vykreslení je jen pro přehled, v programu se tyto varianty vypočítávají virtuálně. V konečné fázi se vypočítají délky těchto variant, vybere se nejkratší a pomocí vykreslování čar se tato křivka zobrazí.





**Obrázek 29 – Vypočtené možnosti trasy**

Přidaly se takzvané propojovací dílky, které můžou mít až dohromady čtyři vstupy a výstupy. Tyto dílky mají pouze jeden červený bod a bílou šipku ukazující směr natočení. Pro ukázkou je na obrázku s číslem 30 sestavená trať, kde se na levé straně rozděluje pomocí propojovacího dílku do tří nákladních bran a dále se zase zpět slučuje do jedné dráhy.



**Obrázek 30 – Funkce propojovacích bodů**

Přidala se funkce posouvání a rotování dílků trasy. U rotace stačí najet na požadovaný dílek, stisknout tlačítko R a levým tlačítkem myši kroužit okolo díku. Posouvání je totožné, provádí se pomocí tlačítka T a dílek začne kopírovat pozici kurzoru myši. Pokud má dílek při posouvání nebo rotování nějakou připojenou trať, tak se tato trať (křivka) neustále vykresluje v reálném čase.



### 4.2.3 Uživatelské rozhraní

Horní lišta se s výjimkou nijak nezměnila. Stále obsahuje tlačítka souboru, editoru, dokumentů, zobrazení a nastavení.

#### **Soubor**

Při vytvoření nového projektu nyní dojde navíc k vymazání seznamu všech propojení mezi vytvořenými dílky a zároveň samotné vygenerované cesty. U ukládání nyní dochází k uložení informací, jako jsou:

- Postavené dílky (parkoviště, propojovací bod, nákladní a výkladní brána).
- Seznam propojených vstupů a výstupů mezi postavenými dílky.
- Počet vložených vozítek.
- Vytvořené nabídky a zakázky.
- Pozice panelů na obrazovce.
- Nastavení.

Při načtení souboru se nejprve vloží jednotlivé dílky, podle kterých se pomocí seznamu propojení vypočtou a vygenerují všechny cesty. Poté se přepíšou proměnné informace v nastavení, změní se pozice panelů na obrazovce, přidají se vozítka a nakonec se doplní produkty se zakázkami.

#### **Editor**

V hlavním horním panelu pod tlačítkem Editoru došlo ke smazání veškerých funkcí a panelu ohledně předem vytvořených tras. Změnil se i panel po otevření editoru, který se zmenšil o počet vymazaných dílků a je zobrazen na obrázku 31 pod červeným číslem 1. Zbývající dvě tabulky jsou zde v této verzi přidány. Tabulka s číslem 2 ukazuje aktuální pozici vybraného dílku v prostoru a tyto hodnoty se dají pomocí klávesnice měnit. Poslední tabulka ukazuje všechny propojené cesty s daným dílkem, kde je na levé a pravé straně malé tlačítko. Levé zelené tlačítko slouží k zobrazení dané připojené cesty, která po kliknutí změni barvu z černé na červenou. Zároveň se červeně změni i text daného řádku. Pravé bílé tlačítko slouží k odstranění této cesty. Po zrušení výběru daného dílku nebo vybrání jiného se opět vše vrátí do původních barev. Celý panel editoru je zafixovaný v levém dolním rohu a nedá se s ním manipulovat.



Obrázek 31 – Panel editoru 2. Verze

## Dokumenty

U listu s produkty, který je zobrazen na obrázku 32, se přidaly nové uživatelské funkce. Jedna z funkcí je možnost vrátit poslední celý smazaný řádek zpět do systému pomocí zeleného tlačítka „Zpět“.

List produktů						X
Jméno:	Kód:	Váha:	Cena:	Datum:		
bílá	45	5	14	25.12.2020	Změnit	-
zelená	34	5	13	24.12.2020	Změnit	-
červená	41	7	14	22.12.2020	Změnit	-
modrá	50	6	15	23.12.2020	Změnit	-
					+	Zpět

Obrázek 32 – List produktů 2. Verze

Z první verze se odstranil panel s přidáváním nových produktů, který nahradila nová funkce skrývající se pod plusovým tlačítkem. Toto tlačítko přidá do seznamu nový řádek s pěti vstupními poli, kam se vyplňují charakterizující údaje o tomto produktu. Řádek nelze uložit, pokud je jedno z těchto polí prázdné. Tyto pole se mohou objevit i v konkrétním řádku, pokud by uživatel chtěl některou charakterizující informaci změnit. U funkcí přidávání a přepisování produktů se všechny ostatní tlačítka změny do neinteraktivního stavu. Tyto funkce jsou zachycené na obrázku 33.

Jméno:	Kód:	Váha:	Cena:	Datum:	
bílá	45	5	14	25.12.2020	Změnit -
zelená	34	5	13	24.12.2020	Změnit -
červená	41	7	14	22.12.2020	Uložit
modrá	50	6	15	23.12.2020	Změnit -
					+ Zpět

**Obrázek 33 – Přidat nebo změnit produkt u 2. verze**

Druhým panelem je list zakázek, který je vidět na obrázku 34. Existuje zde stejná funkce vrácení vymazaného řádku zpět, jako u produktů. Na pravé straně obrázku je informativní seznam všech produktů dané zakázky, který dokáže měnit svoji pozici se závislostí pozice listu zakázek na obrazovce. Pokud je tento list v pravé části obrazovky, tabulka s produkty se přemístí na levou stranu.

List zakázek					Zakázky		
Číslo	Produkty	Datum	Status		Číslo	Produkt	Množství
1)	2	25.12.2020	Čeká	Otevřít Změnit -	1)	bílá	7
2)	4	26.12.2020	Čeká	Otevřít Změnit -	2)	zelená	3
					3)	červená	2
					4)	modrá	4

**Obrázek 34 – List zakázek 2. verze**

Při přidávání nebo upravování zakázky se opět všechny ostatní tlačítka změní do neinteraktivního stavu a vyskočí nová tabulka uprostřed listu (obrázek 35). V této tabulce se plusem a mínusem dají přidávat nebo odstraňovat řádky s produkty. Po vyplnění všech polí stačí už jen zakázku uložit. Kdyby zůstalo jedno pole prázdné, zčervenalo by na jednu vteřinu a nešlo by uložit.

2)

4

26.12.2020

Čeká

Otevřít

Změnit

-

+

Zpět

Přidat zakázku

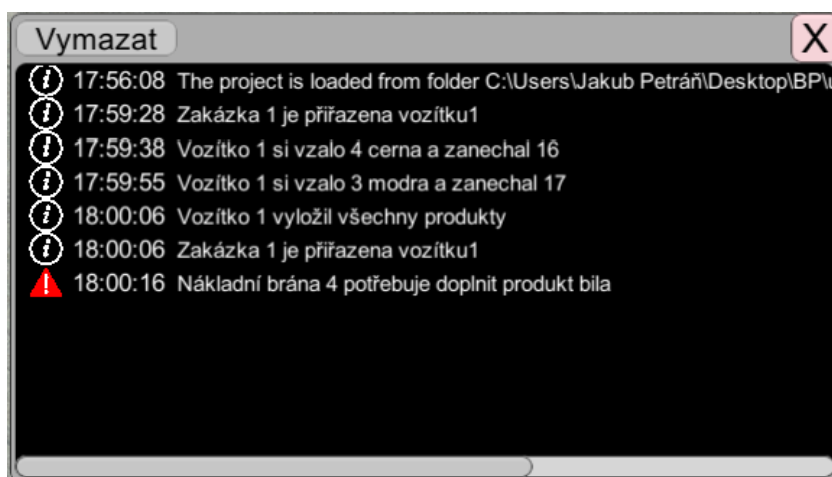
Datum: 26.12.2020 + - Uložit

Číslo	Produkt	Množství
1)	bílá	7
2)	zelená	3
3)	červená	2
4)	modrá	4

**Obrázek 35 – Přidat nebo změnit zakázku u 2. verze**

## Zobrazení

V zobrazení přibyl panel se seznamem všech proběhnutých činností a procesů, který je zaznamenan na obrázku 36. Panel nemá žádné omezení v řádkování a obsah se dá jednoduchým kliknutím vymazat. Jeden řádek se skládá ze tří částí, první je ikona, druhý čas a poslední text. Procesy mohou sdělovat až tři různé způsoby a ke každému patří patřičná ikona. Čas se vkládá podle aktuálního času operačního systému a v textu se objevuje daný proces nebo činnost.



Obrázek 36 – Panel s procesy

Ikony jsou zobrazeny na obrázku s číslem 37 a tři způsoby sdělení jsou:

- Upozornění (červená ikona) – hlásí nedostatky a omezující chyby pohybu vozítek v programu.
- Oznámení (žlutá ikona) – dopředu oznamuje, že může zanedlouho nastat předchozí způsob.
- Informace (pravá ikona) – přehled proběhnutých činností a procesů.



Obrázek 37 – Ikony

## Nastavení

U možnosti vrácení pozice panelů do výchozího stavu přibyla pozice nového panelu ohledně procesů. K vlastnostem programu se přidala rychlost vozítek v metrech za sekundu

a poloměr generovaného oblouku propojených cest v milimetrech. Tabulka s vlastnostmi je pod tímto textem znázorněna na obrázku 38.

**Vlastnosti** [X]

**Velikost podlahy**

Délka (horizontální):  m

Šířka (vertikální):  m

Jazyk:  ▾

Rychlost vozítka:  m / s

Poloměr oblouku:  mm

**Obrázek 38 – Nastavení 2. verze**

Posledním upraveným panelem je panel klávesových zkratk (obrázek 39), kde se zvětšil objem funkcí pro manipulování s jednotlivými dílky.

**Klávesové zkratky** [X]

**Ovládání kamery**

Pohyb myši	Střední tlačítko myši	
Rotace myši	Pravé tlačítko myši	
Přiblížení myši	Střední tlačítko myši	
Pohyb klávesnicí	Šipky	WASD
Rotace klávesnicí	CTRL + Šipky	CTRL + WASD
Přiblížení klávesnicí	ALT + Šipky	ALT + WASD

**Ovládání editoru**

Položit	Levé tlačítko myši
Rotace	R
Vybrat	Num 1-4
Zrušit výběr	Esc
Smazat	Delete

**Ovládání tratě**

Pohyb myši	T + Levé tlačítko myši
Rotace myši	R + Levé tlačítko myši

**Obrázek 39 – Klávesové zkratky 2. verze**

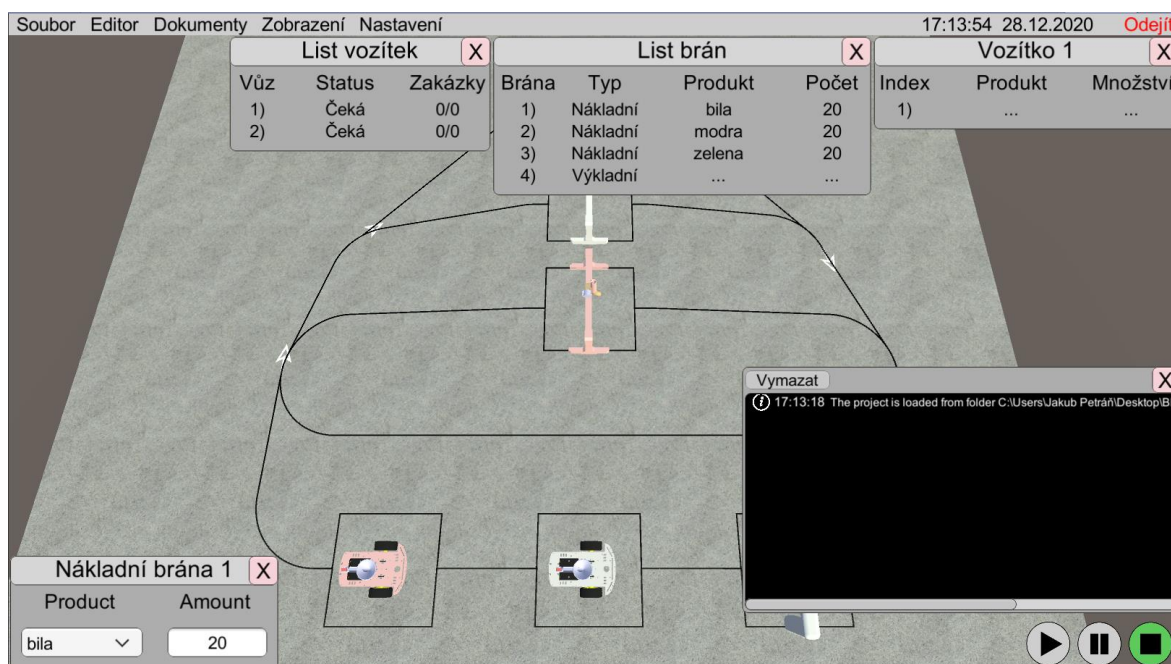
Při přidržení tlačítka T se aktivuje funkce pro pohybování vložených dílků. Na první pohled se nic nestane, dokud se nenajede myši na některý dílek. Kurzor myši se změní na levou ikonu z obrázku 40 a stlačením levého tlačítka myši se s daným dílkem dá po celé podlaze pohybovat. Po puštění levého tlačítka a vyjetí myši z dílku nebo puštění tlačítka T

se kurzor vrátí do původní podoby. Funkce rotování s dílkem je stejná, akorát zde funguje s tlačítkem R a kurzor myši se nyní změní na pravou ikonu z obrázku. Díky této funkci se v druhé verzi dá otáčet požadovaný dílek o libovolný úhel a není nijak omezený.



Obrázek 40 – Kurzory myši

Pro ukázkou celého obrazu programu a pozic jednotlivých panelů je zde obrázek s číslem 41. Jsou na něm zobrazeny výchozí pozice panelů, které jsou rozmístěny po celé obrazovce. Ostatní panely, které se na obrázku neobjevují, se otvírají uprostřed obrazovky. V levém dolním rohu se také objevuje editor s dílky tratí, který se nepřekrývá s panelem nákladní brány, protože při otevření editoru se tento panel zavře.



Obrázek 41 – Zobrazení pozice panelů

#### 4.2.4 Funkce pohybu vozítek

V této verzi jezdí vozítko po zbylých dílcích stejným způsobem jako v předešlé verzi. Přibyla zde u každého dílku funkce pro pamatování všech propojených cest mezi ostatními dílky. Tuto funkci pak využívá, když vyjíždí z daného dílku a potřebuje znát následující

cestu. Dílek mu poskytne následující informace a vozítko si podle výpočetních algoritmů sestaví danou trasu. Ještě než se vozítko rozjede z parkoviště, potřebuje zjistit danou nejkratší cestu ke všem požadovaným nákladním bránám ze zakázky. Využívá u toho novou funkci se seznamem všech propojených červených bodů, podle jednotlivých identifikačních čísel. Prozkoumá všechny možné výstupní cesty. Po nalezení dané brány si zpětným chodem zjistí odbočovací body a zároveň správné pořadové číslo cesty tohoto bodu k požadované nákladní bráně. Poté co k tomuto bodu vozítko přijede, vytáhne si z paměti toto správné pořadové číslo a vydá se její cestou. Pokud vozítko přijede k nákladní bráně, která má v zásobníku menší množství produktů, zůstane stát a objeví se nad bránou text o doplnění. Tento text se vždy otáčí čelem ke kameře, aby nebyl k přehlédnutí. Po doplnění zásobníku dané brány text zmizí a vozítko začne znovu nakládat. Po naložení posledního produktu si stejným způsobem nalezne cestu k výkladní bráně a poté k nejbližšímu volnému parkovišti. Vozítka se po parkovištích připojených sériově za sebou posouvají postupně do přední linie, kde jsou připravené k přijetí zakázky. Jsou vybavena virtuálními senzory, které před sebou snímají ostatní vozítka, aby nedošlo k nechtěnému střetnutí. V pravém dolním ovládacím panelu přibyla u chybového hlášení červená šipka, protože samotná animace zčervenání kolečka se stopkou byla nevýrazná. Tato šipka má objevující animaci, která na začátku hlášení přiletí ze shora do pozice z obrázku 42 a poté se pomalu rozplyne, až celá zmizí.



**Obrázek 42 – Chybové hlášení ovládací panelu**

### 4.3 Přínosy realizace digitálního dvojčete

Hlavním přínosem vytvořeného virtuálního dvojčete je možnost si předem navrhnout vlastní vychystávací systém ve virtuálním prostředí. Program umožňuje si vytvořit požadovanou velikost platformy (podlahy) podle skutečných požadovaných rozměrů a nastavit si velikost poloměru pro vygenerované zatačky. V digitálním prostředí dokáže spolupracovat více vozítek podle počtu vytvořených parkovišť. Nejvhodnější traťový systém je takový, kde si vložená vozítka nebudou navzájem překážet při vychystávání. Po sestavení vlastního virtuálního systému lze vyhodnotit vyskytnuté nedostatky ještě předtím, než si uživatel takové vychystávací prostředí zrealizuje. Vyzkoušet si chování vozítek při přepravování produktů a podle simulace optimalizovat návrh a zrealizovat nejvhodnější požadovaný traťový systém. Dalším přínosem digitálního dvojčete je možnost si pomocí simulací odhadnout časové vychystávací intervaly, například za jak dlouho vozítko zvládne dojet z parkovacího místa do požadované nákladní brány, nebo rovnou dokončit celou zakázku. Následně může uživatel toto prostředí vytvořit ve skutečné výrobě, podle kompletně vytvořeného modelu.



## 5 Závěr

V teoretické části je všeobecně popsáno digitální dvojče, jeho možné rozdělení a přínosy v praxi. Objevuje se zde i postup jeho návrhu a případné využití v nejrůznějších oborech. Dále jsou popsány použité programy pro návrh a tvorbu aplikace.

V první podkapitole druhé části se bakalářská práce zabývá tvorbou programu od samotného základu. Začíná to realizací modelů v programu PTC Creo, kde bylo vymodelováno přepravní vozítko, nákladní a výkladní brána. Dále je popsána tvorba důležitých dílů pro vytvoření požadované tratě a uživatelské rozhraní, kde uživatel vidí potřebné informace. Poslední funkce první podkapitoly se týkají vozítek, které se starají o jeho pohyb, zpracovávání zakázky a vypočítávání tratí k požadovanému cíli. V druhé podkapitole se objevují návrhy a vylepšení předchozí první verze do kompletního, finálního stavu. Na závěr jsou popsány přínosy využití digitálního dvojčete se skutečnou vychystávací linkou ve výrobě.

V budoucnu by se na tuto bakalářskou práci dalo navázat takovým způsobem, že by se v reálném čase propojil virtuální model se skutečnou linkou. Aplikace by si aktualizovala své data, která by přijímala od fyzických objektů (vozítka, nákladní a výkladní brány). Mohly by mezi sebou navzájem komunikovat a při některých příležitostech se i ovlivňovat, například u doplňování produktů. Uživatel by měl díky vytvořenému programu větší přehled o aktuálních činnostech skutečné vychystávací linky.

## 6 Použitá literatura a zdroje

- [1] Co je digitální dvojče a proč je užitečné | AI World.cz. AI World.cz | Denní zpravodajství ze světa umělé inteligence [online]. Dostupné z:  
<https://aiworld.cz/digitalizace/co-je-digitalni-dvojce-a-proc-je-uzitecne-232>
- [2] Digitální dvojče/3D tisk [online]. Copyright © 2018/7 Bulletin Průmyslu 4.0 [cit. 29.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/files/bulletin-prumyslu4-2018-07.pdf>
- [3] 7 Amazing Examples of Digital Twin Technology In Practice. Forbes [online]. Copyright © 2020 Forbes Media LLC. All Rights Reserved [cit. 29.12.2020]. Dostupné z:  
<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/04/23/7-amazing-examples-of-digital-twin-technology-in-practice/?sh=3bb966b96443>
- [4] KRITZINGER, Werner, et al. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018, 51.11: 1016-1022.
- [5] Digitální podnik pro výrobní průmysl | Digitální podnik | Czech Republic. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 1996 [cit. 07.01.2021]. Dostupné z:  
<https://new.siemens.com/cz/cs/products/tematicke-oblasti/digital-enterprise/discrete-industry.html>
- [6] Digitální dvojčata mění plánování [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z:  
<https://logistika.ihned.cz/c1-66607370-digitalni-dvojcata-meni-planovani>
- [7] Digitální dvojče: Vůdčí technologie inteligentního průmyslu - Vše o průmyslu. Portál pro moderní výrobu - Vše o průmyslu [online]. Copyright © 2020 TRADEMEDIA INTERNATIONAL. Všechna práva vyhrazena. [cit. 27.10.2020]. Dostupné z:  
<https://www.vseoprumsly.cz/digitalizace/digitalni-prototypovani/digitalni-dvojce-vudci-technologie-inteligentniho-prumyslu.html>
- [8] Digitální dvojčata - trend budoucnosti: IT SYSTEMS [online]. 9/2020 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/trendy-ict/digitalni-dvojcata-trend-budoucnosti.htm>

- [9] Digitální maketa, virtuální a rozšířená realita společnosti Siemens Digital Industries Software. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Siemens 2021 [cit. 09.01.2021]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/cz/industries/automotive-transportation/trucks-buses-specialty-vehicles/digital-mockup-virtual-augmented-reality.html>
- [10] Informační systém [online]. Copyright ©i [cit. 09.01.2021]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/prezentace/11\\_09\\_2013/workshopy/ws-B3/priklady/priklad\\_procesni\\_rizeni.pdf?lang=cs](https://is.muni.cz/do/rect/el/prezentace/11_09_2013/workshopy/ws-B3/priklady/priklad_procesni_rizeni.pdf?lang=cs)
- [11] Jak na IIoT, průmyslový internet věcí? | Ness Digital Engineering. Strategický partner pro komplexní digitální transformaci | Ness Digital Engineering [online]. Copyright © 2018 [cit. 09.01.2021]. Dostupné z: <https://www.ness.cz/blog/jak-na-prumyslov-y-internet-veci>
- [12] Digitální dvojče/Automatizace inženýrských prací Bulletin [online]. Copyright © 2019/7 Průmyslu 4.0 [cit. 30.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/files/bulletin-prumyslu-40-07.pdf>
- [13] Význam Digital Twin ve spojení s IoT roste nejen ve výrobě a v průmyslu | IoTPort. Propojujeme firmy a lidi se zájmem v internetu věcí | IoTPort [online]. Copyright © 2020 České Radiokomunikace a.s. [cit. 30.12.2020]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/digital-twin-uz-jste-nekdy-potkali-digitalni-dvojce>
- [14] Digitální dvojče | #blog ARCDATA. #blog ARCDATA [online]. Dostupné z: <https://blog.arcdata.cz/clanky/test-digitalni-dvojce>
- [15] Digitální dvojčata mění plánování výroby, skladů i dodavatelských řetězců. Do dvou let je nasadí polovina průmyslových koncernů [online]. Copyright © 2019 Logistika [cit. 30.12.2020]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66617680-digitalni-dvojcata-meni-planovani-vyroby-skladu-i-dodavatelskych-retezcu-do-dvou-let-je-nasadi-polovina-prumyslovych-koncernu>
- [16] PRECLÍK, Vratislav. Průmyslová logistika. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03449-6.
- [17] Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine. Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine [online]. Copyright © 2020 Unity Technologies [cit. 19.10.2020]. Dostupné z: <https://unity.com/>

- [18] Unity - Manual: Models. [online]. Copyright © 2017 Unity Technologies. Publication [cit. 09.01.2021]. Dostupné z:  
<https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/FBXImporter-Model.html>
- [19] Unity - Manual: Unity Hub. [online]. Copyright © 2020 Unity Technologies. Publication Date [cit. 09.01.2021]. Dostupné z:  
<https://docs.unity3d.com/Manual/GettingStartedUnityHub.html>
- [20] SMITH, Matt a Chico QUEIROZ. Unity 5.x cookbook: over 100 recipes exploring the new and exciting features of Unity 5 to spice up your Unity skill set. Birmingham: Packt Publishing, 2015. Quick answers to common problems. ISBN 978-1-78439-136-2.
- [21] Visual Studio 2019 IDE - Programming Software for Windows. Visual Studio IDE, Code Editor, Azure DevOps, & App Center - Visual Studio [online]. Dostupné z:  
<https://visualstudio.microsoft.com/cs/vs/>
- [22] Počítačový programovací jazyk: Encyklopedie Britannica [online]. [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/computer-programming-language>
- [23] Programovací jazyk (Programming Language). In: ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) 2011-2021, 09.12.2015 [cit. 04.01.2021]. Dostupné z:  
<https://managementmania.com/cs/programovaci-jazyk>
- [24] PTC Creo 3.0 usnadňuje práci s různorodými CAD daty – Konstrukter.cz. Konstrukter.cz – CAD/CAM, 3D tisk a konstruování výrobků [online]. Copyright © 2019 [cit. 19.10.2020]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/ptc-creo-3-0-usnadnuje-praci-s-ruznorodymi-cad-daty/>
- [25] PTC Creo. AV ENGINEERING, a.s. [online]. Copyright ©2020 AV ENGINEERING, a.s. All Rights Reserved [cit. 24.11.2020]. Dostupné z:  
<https://www.aveng.cz/software-services/software/ptc-creo>